

# Efektifitas Karbon Dari Media Arang Tanduk Kulit Kopi Pada Proses Pack Carburizing

Fakhriza<sup>1</sup>, Irwin Syahri Cebro<sup>2\*</sup>, Akhyar Ibrahim<sup>3</sup>, Mawardi<sup>4</sup>, Muhibbul Chairi<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B. Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

<sup>1</sup>fakhriza@pnl.ac.id  
<sup>2\*</sup>Owencebro@pnl.ac.id

**Abstrak**— Dipasaran terdapat dua produk *sprocket* yaitu, produk asli keluaran pabrikan resmi yaitu *genuine part* dan *sproket* dengan kualitas menyerupai *sprocket* asli disebut imitasi (KW). *Sprocket* imitasi yang jauh dari *standart* pembuatannya masih diragukan dari segi bahan, kualitas dan mutu produk tersebut, oleh karena kualitas masih diragukan itulah yang menyebabkan *sprocket* imitasi jauh lebih murah dibanding *sprocket genuine part*. Karburisasi padat (*pack carburizing*) merupakan proses thermokimia atau *chemical heat treatment* yang dilakukan dengan mengubah komposisi kimia permukaan baja dengan pemanasan pada suhu austenite. Untuk memperoleh hasil *pack carburizing* yang maksimal, perlu diperhatikan beberapa faktor, yaitu: temperatur, waktu tunggu (*holding time*), katalis serta media karbonnya. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar peningkatan kekerasan material *sprocket* imitasi setelah dilakukan proses *carburizing* dan membandingkannya dengan *sprocket* original tanpa perlakuan. Adapun variable bebas yang digunakan *sprocket genuine part*, dan *sprocket* imitasi yang sudah mengalami perlakuan panas, media pendingin (*quenching*) air, dengan variasi temperatur (850°C, 900°C dan 950 °C) dengan penahanan waktu 120 menit, menggunakan sumber karbon dari arang kulit tanduk biji kopi dan katalis dari cangkang tiram (CaCO<sub>3</sub>) dengan perbandingan komposisi sebesar 80% karbon: 20% katalis, 70% karbon: 30 % katalis dan 60% karbon: 40 % Katalis. Pengujian kekerasan raw material yaitu *sprocket original* adalah 570,48 HV dan *sprocket KW* adalah 464.85 HV, selisih nilai kekerasan sebesar 105,63 HV. Setelah dilakukan proses *pack carburizing* pada variasi temperatur dan komposisi (arang dan katalis) nilai kekerasannya *sprocket KW* secara umum naik dari raw material *sprocket KW* dengan nilai kekerasan tertinggi pada temperatur 850°C dan komposisi 60% karbon: 40 % katalis yaitu sebesar 656,6 HV. Nilai kekerasan *sprocket KW* setelah dilakukan proses *carburizing* yang mendekati atau sama dengan nilai kekerasan *sprocket original* adalah pada temperatur 950°C dan komposisi 70% karbon: 30 % katalis yaitu sebesar 569,3 HV.

**Kata kunci**— *Sprocket*, perlakuan panas, *karburisasi*, waktu penahanan, pendinginan, kekerasan.

**Abstract**— There are two sprocket products on the market, namely, original products produced by official manufacturers, namely genuine parts and sprockets with quality similar to original sprockets, called imitation quality (KW). Imitation sprockets which are far from the standard of manufacture are still doubtful in terms of materials, quality and quality of the product, because the quality is still doubtful which is why imitation sprockets are much cheaper than genuine part sprockets. Solid carburizing (*pack carburizing*) is a thermochemical or chemical heat treatment process which is carried out by changing the chemical composition of the steel surface by heating it to the austenite temperature. To obtain maximum pack carburizing results, several factors need to be considered, namely: temperature, holding time, catalyst and carbon media. The main aim of this research is to determine the magnitude of the increase in hardness of imitation sprocket material after the carburizing process and compare it with original sprockets without treatment. The independent variables used are genuine sprocket parts, and imitation sprockets that have undergone heat treatment, water cooling (*quenching*) media, with temperature variations (850°C, 900°C and 950 °C) with a holding time of 120 minutes, using a carbon source from hornbark charcoal, coffee beans and catalyst from oyster shells (CaCO<sub>3</sub>) with a composition ratio of 80% carbon: 20% catalyst, 70% carbon: 30% catalyst and 60% carbon: 40% catalyst. Raw material hardness testing, namely the original sprocket is 570.48 HV and the KW sprocket is 464.85 HV, the difference in hardness value is 105.63 HV. After the pack carburizing process was carried out at various temperatures and compositions (charcoal and catalyst), the hardness value of the KW sprocket generally increased from the raw material KW sprocket with the highest hardness value at a temperature of 850oC and a composition of 60% carbon: 40% catalyst, namely 656.6 HV. The hardness value of the KW sprocket after the carburizing process is close to or the same as the hardness value of the original sprocket at a temperature of 950oC and a composition of 70% carbon: 30% catalyst, namely 569.3 HV.

**Keywords**— *Sprocket*, heat treatment, *carburizing*, *holding time*, *quenching*, *hardness*.

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia otomotif yang semakin pesat menuntut industri otomotif untuk selalu mengedepankan kemajuan teknologinya masing-masing, terutama dibidang kendaraan roda dua pemakaian baja paduan khusus pada dunia otomotif terus meningkat, seiring meningkatnya kendaraan bermotor di Indonesia, banyak komponen otomotif yang memakai baja paduan, diantaranya adalah gear sprocket belakang pada sepeda motor dan sebagainya [1].

*Sprocket* adalah salah satu komponen dari sepeda motor yang berpasangan dengan rantai yang digunakan untuk mentransmisikan gaya putar dari mesin ke roda belakang. Pada sepeda bermotor, pembakaran pada mesin menghasilkan putaran yang diteruskan oleh kopling dari poros penggerak ke poros penerus. Poros penerus ini dihubungkan langsung dengan *sprocket* depan, dan putaran tersebut langsung

dipindahkan *sprocket* depan melalui rantai ke *sprocket* belakang sehingga roda belakang bergerak. Jadi *sprocket* depan berfungsi sebagai pemindah putaran dari mesin ke roda belakang, yang seterusnya digunakan untuk menggerakkan sepeda motor tersebut [2][3].

Dipasaran terdapat dua produk *sprocket* yaitu, produk asli keluaran pabrikan resmi yaitu *genuine part* dan *sprocket* dengan kualitas menyerupai *sprocket* asli disebut kualitas imitasi atau kw. *Sprocket genuine part* adalah salah satu produk yang telah teruji ber *standart* dari segi bahan, kualitas dan mutu. *Sprocket* imitasi yang jauh dari *standart* pembuatannya masih diragukan dari segi bahan, kualitas dan mutu produk tersebut, oleh karena kualitas masih diragukan itulah yang menyebabkan *sprocket* imitasi jauh lebih murah dibanding *sprocket genuine part*.

Pada beberapa komponen elemen mesin yang saling bersinggungan maka diperlukan suatu *treatment* (perlakuan)

husus untuk meningkatkan kekerasan permukaan dan meminimalisir terjadinya keausan 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. Unsur yang paling dominan pengaruhnya terhadap sifat-sifat baja adalah unsur karbon, meskipun unsur-unsur lain tidak bisa diabaikan begitu saja. Besar kecilnya presentase unsur karbon akan berdampak pada sifat mekanik dari baja tersebut, misalnya dalam hal kekerasan, keuletan, mampu bentuk dan sifat-sifat mekanik lainnya. Sifat kekerasan baja sangat tergantung pada unsur karbon yang terkandung dalam baja

Salah satu cara yang dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat permukaan yaitu dengan cara *carburizing* (proses pengarbonan) merupakan proses dimana benda kerja akan dikeraskan (*hardening*) pada permukaan, penambahan karbon dilakukan dengan cara memanaskan benda kerja dalam lingkungan yang banyak mengandung karbon aktif, sehingga karbon berdifusi masuk kepermukaan kulit baja. Pada temperatur *carburizing*, media karbon terurai menjadi CO yang selanjutnya menjadi karbon aktif yang dapat berdifusi masuk kedalam baja dan menaikkan kadar karbon pada baja.[2].

Penelitian ini dilakukan pada material *sprocket* imitasi yang banyak ditemukan di pasaran. Berdasarkan survei yang dilakukan pada berbagai pihak seperti konsumen dan pekerja bengkel sepeda motor kualitas *sprocket* imitasi berbeda dengan *sprocket genuine part*, dari segi kualitas *sprocket* motor yang imitasi cepat mengalami keausan dibanding *sprocket genuine part*. Sebenarnya kita bisa mendapatkan *sprocket* imitasi dengan harga yang murah dan juga dengan kualitas yang sama atau bahkan dengan kualitas diatas *sprocket genuine part*, dengan cara perlakuan *carburizing* pada *sprocket* imitasi tersebut.

Proses karburising sangat dibutuhkan untuk mengeraskan permukaan luar baja, menambahkan umur pakai, lebih tahan aus, dan tidak merubah sifat asli baja tersebut.

Kulit tanduk kopi merupakan kulit kopi paling keras tersusun oleh selulosa dan hemiselulosa, dimana kulit tanduk kopi memiliki kandungan senyawa organik yang cukup tinggi [4]. Limbah kulit tanduk kopi memiliki kandungan selulosa sebesar 63%, hemiselulosa sebesar 2,3%, dan lignin sebesar 17%, Dimana kandungan unsur karbon yang terdapat dalam senyawa-senyawa organik tersebut cukup besar yaitu 45,3%. Limbah kulit tanduk kopi belum dimanfaatkan secara optimum.

Berdasarkan latar belakang tersebut penelitian ini akan melihat pengaruh variasi temperatur dan variasi persentase karbon arang kulit tanduk biji kopi dan cangkang tiram sebagai katalisator (CaCO<sub>3</sub>) terhadap peningkatan kekerasan permukaan *sprocket* imitasi dengan metode *pack carburizing*.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Uji Material dan Karakterisasi jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe, adapun metodologi penelitian adalah sebagai berikut:

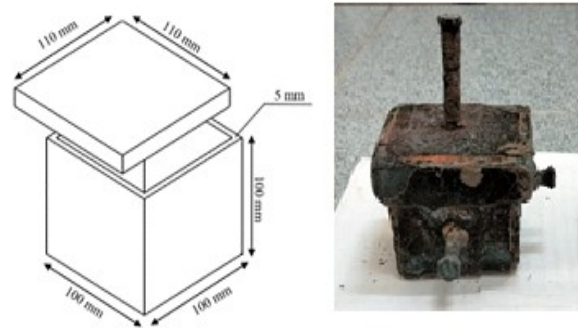
- Material yang digunakan adalah sprocket sepeda motor Honda CRF 150L untuk yang original merek *genuine part* dan *non original* (KW), kedua gear sprocket termasuk dalam jenis baja karbon menengah, yang memiliki kadar

karbon 0,3% sampai 0,7%. Gear sprocket imitasi dipotong-potong dengan jumlah spesimen 10 buah dan yang ori 1 spesimen, dan bentuk dapat dilihat pada gambar.



Gambar 1. Spesimen uji gear sprocket

- Proses carburizing dilakukan dengan menggunakan kotak sementasi terbuat dari material pelat baja karbon sedang dengan ketebalan 5 mm dengan dimensi 100 mm x 100 mm x 100 mm dan di las menggunakan las listrik, kotak sementasi dapat dilihat pada gambar 2..



Gambar 2. Kotak sementasi

- Media karburising memanfaatkan kulit tanduk biji kopi yang dipanaskan pada temperatur diatas 200 °C sampai menjadi arang pada pembakaran tidak sempurna, kemudian arang kulit tanduk biji kopi dihaluskan dengan ukuran 20 mesh. Katalis yang digunakan cangkang tiram dengan ukuran 20 mesh, dapat dilihat pada gambar 3.



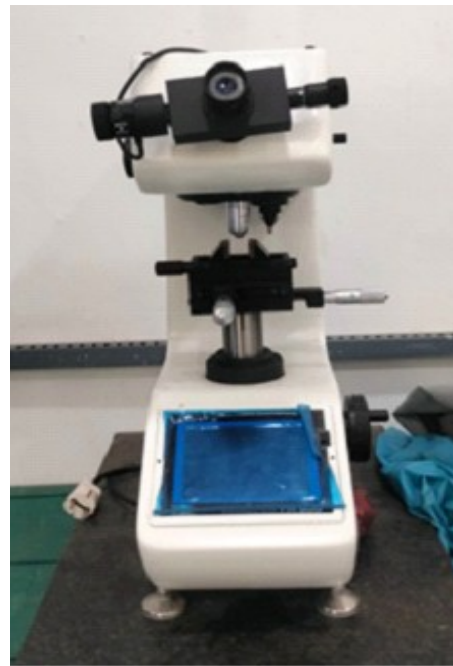
Gambar 3. Media karburising (kulit tanduk kopi dan cangkang tiram)

- Kulit tanduk kopi dan cangkang tiram yang telah dihaluskan pada mesh 20 pada proses *pack carburizing*, dengan variasi:
  - 80% arang kulit tanduk biji kopi :20% cangkang tiram;
  - 70 % arang kulit tanduk biji kopi :30 % cangkang tiram; dan
  - 60 % arang kulit tanduk biji kopi: 40 % cangkang tiram.
- Perlakuan panas *pack carburizing* pada temperatur yang berbeda yaitu: 850°C, 900°C, dan 950°C, dengan penahanan 120 menit dan di *quenching* kedalam air. Dapur pemanas yang digunakan adalah merek *Nobertherm* dengan spesifikasi suhu 30-3000°C, daya 50 KW, arus listrik sebesar 12,5 amper, frekuensi 50/6 Hz (gambar 4)



Gambar 4. Dapur pemanas

- Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji *vickers microhardness tester* FM-800, gambar 5. Indentor yang digunakan berupa kerucut intan dengan beban uji sebesar 1000 gf dengan load time 15 detik. Setiap spesimen dilakukan indentasi sebanyak 4 kali, dengan standar uji ASTM E8M [].



Gambar 5. Alat uji kekerasan

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian Kekerasan Tanpa Perlakuan

Hasil penelitian uji kekerasan pada raw material spesimen *gear sprocket* original (D1) dan spesimen *gear sprocket non original/ KW* (D2) diuji pada 4 titik dengan beban 1000 gf dan waktu tekan 15 detik dapat dilihat pada **Kesalahan! Sumber referensi tidak ditemukan.** berikut

Tabel 1. Nilai Kekerasan Raw Material

SAM- PEL	METODE UJI	NILAI KEKERASAN				RE- RATA
		1	2	3	4	
D1	HV	614.50	560.60	534.90	571.90	570.48
	HRC	46.10	53.00	51.40	53.70	51.05
D2	HV	482.80	508.30	420.40	447.90	464.85
	HRC	47.90	49.70	42.80	45.20	46.40

Hasil pengujian didapat nilai kekerasan tertinggi *sprocket* original adalah sebesar 614,50 HV atau 46,10 HRC dan nilai rata-rata *sprocket* original sebesar 570,48 HV atau 51,05 HRC dan *sprocket* KW sebesar 464,85 HV atau 46,40 HRC. Nilai kekerasan *sprocket* original mempunyai selisih sebesar 105,63 HV atau 4.65 HRC, dengan kondisi tersebut *sprocket* KW dapat dilakukan proses *pack carburizing* untuk meningkatkan kekerasannya. Dari hasil proses *pack carburizing* pada berbagai variasi komposisi dan temperatur akan didapat nilai kekerasan raw material *sprocket* KW sama dengan atau mendekati *sprocket* original, sehingga secara pemakaiannya gear sprocket akan sama seperti gear original yang dibeli dengan harga jauh lebih murah.

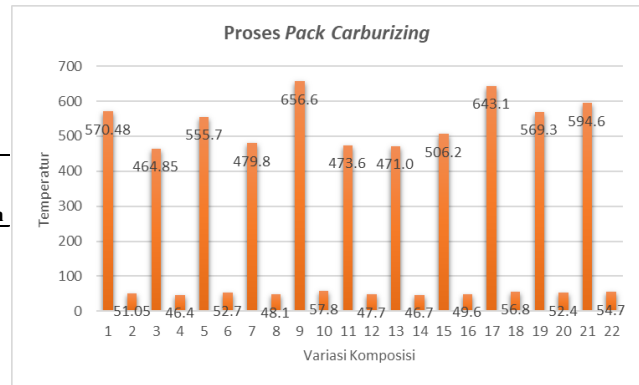
#### B. Proses Pack Carburizing

Proses *pack carburizing gear sprocket* KW dengan cara memasukkan spesimen pada masing-masing packing yang di dalamnya dimuat serbuk karbon dan cangkang tiram. perlakuan panas pada temperatur yaitu: 850°C, 900°C, dan 950°C, dengan *holding time* 120 menit. Perlakuan panas

menggunakan pendinginan air (*quenching*) dengan persentase arang kulit tanduk kopi dan cangkang tiram dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Proses *Pack Carburizing*

Kode sam-pel	Temperatur °C ( <i>pack carburizing</i> )	Holding time (menit)	% arang kulit tanduk kopi	% cangkang tiram	Quen Ching	Jum Lah spesimen
A1	850	120	80	20	Air	1
B1	850	120	70	30	Air	1
C1	850	120	60	40	Air	1
A2	900	120	80	20	Air	1
B2	900	120	70	30	Air	1
C2	900	120	60	40	Air	1
A3	950	120	80	20	Air	1
B3	950	120	70	30	Air	1
C3	950	120	60	40	Air	1



Gambar 6. Nilai Kekerasan setelah *pack carburizing*

Setelahnya spesimen dikeluarkan, kemudian dilakukan pengujian kekerasan metode (HRV).

Nilai tertinggi kekerasan secara merata terjadi pada temperature 950°C yaitu antara 569,3 HV sampai dengan 643 HV.

C. Pengujian Kekerasan Setelah *Pack Carburizing*

Hasil pengujian kekerasan spesimen *gear sprocket non original* (KW) setelah perlakuan panas (*Pack Carburizing*) diuji pada 4 titik. Pengujian dengan beban 1000 gf dan waktu tekan 15 detik dapat dilihat pada tabel 3.

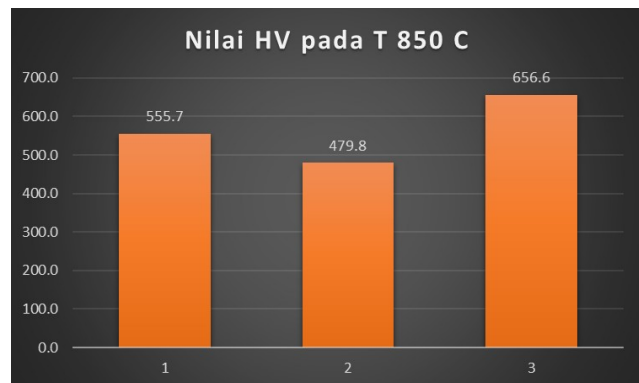
Tabel 3. Nilai Kekerasan Setelah *Pack Carburizing*

SAM-PEL	NO	METODE UJI	NILAI KEKERASAN				RE-RATA
			1	2	3	4	
A1	1	HV	566,0	538,9	584,5	533,2	555.7
	2	HRC	53,4	51,7	54,4	51,3	52.7
B1	3	HV	499,0	478,0	444,9	497,3	479.8
	4	HRC	50,8	47,3	44,9	49,5	48.1
C1	5	HV	703,3	671,4	677,6	574,1	656.6
	6	HRC	60,3	58,5	58,6	53,8	57.8
A2	7	HV	422,1	491,4	499,7	481,0	473.6
	8	HRC	42,9	48,5	51,6	47,8	47.7
B2	9	HV	422,5	490,5	423,6	547,3	471.0
	10	HRC	43,0	48,5	43,1	52,2	46.7
C2	11	HV	511,0	508,2	491,3	514,1	506.2
	12	HRC	49,9	49,7	48,5	50,1	49.6
A3	13	HV	667,1	684,8	527,0	693,3	643.1
	14	HRC	58,3	58,8	50,9	59,0	56.8
B3	15	HV	452,2	483,0	553,2	788,6	569.3
	16	HRC	45,5	47,9	52,6	63,6	52.4
C3	17	HV	575,5	585,7	540,0	677,0	594.6
	18	HRC	53,9	54,5	51,8	58,6	54.7

Pada diagram histogram gambar 6, nilai kekerasan gear sprocket non original (KW) setelah dilakukan *pack carburizing* pada temperature 850°C, 900°C, dan 950°C, dengan variasi persentase arang kulit tanduk kopi dan cangkang tiram adalah sebagai berikut: 80%: 20%, 70%: 30%, dan 60%: 40%. Nilai kekerasan gear sprocket non original (KW) secara umum meningkat kekerasannya, nilai tertinggi pada temperature 850°C (variasi 60%: 40%) dan yang nilai kekerasan terendah pada temperature 850°C (variasi 70%: 30%).

- Pengujian Kekerasan Pada T: 850°C

Pada diagram histogram gambar 7, nilai kekerasan gear sprocket non original (KW) setelah dilakukan *pack carburizing* pada temperature 850°C, dengan persentase arang kulit tanduk kopi dan cangkang tiram adalah sebagai berikut: sampel A1 = (80%: 20%), sampel B1 = (70%: 30%), dan sampel C1 = (60%: 40%).

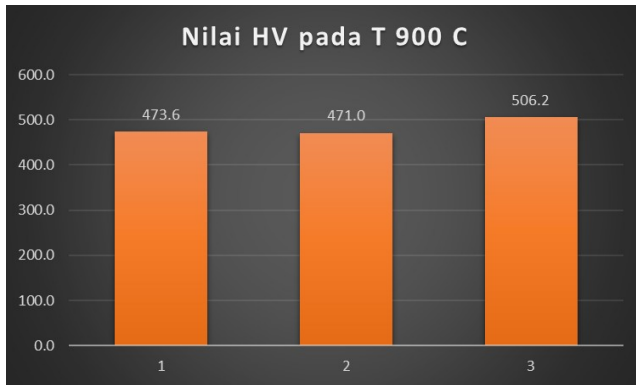


Gambar 7. Nilai Kekerasan pada Temperatur 850°C

Pada gambar 7, nilai kekerasan sprocket hasil dari proses *pack carburizing* untuk komposisi arang kulit tanduk kopi dan cangkang tiram pada temperature 850°C nilai kekerasan untuk komposisi 80% : 20% = 555,7 HV, komposisi 70% : 30% = 479,8 HV, dan 60%: 40% = 656,6 HV, nilai kekerasan sprocket KW untuk semua variasi komposisi mengalami kenaikan dari raw material sprocket KW tanpa perlakuan. Nilai kekerasan hasil proses *pack carburizing* yang mendekati sprocket original (570,48 HV) adalah pada komposisi 80% : 20 % (555,7 HV).

- Pengujian Kekerasan Pada T: 900°C

Pada diagram histogram gambar 8, nilai kekerasan gear sprocket non original (KW) setelah dilakukan *pack carburizing* pada temperature 900°C. dengan persentase arang kulit tanduk kopi dan cangkang tiram adalah sebagai berikut: sampel A2 = (80%: 20%), sampel B2 = (70%: 30%), dan sampel C2 = (60%: 40%).

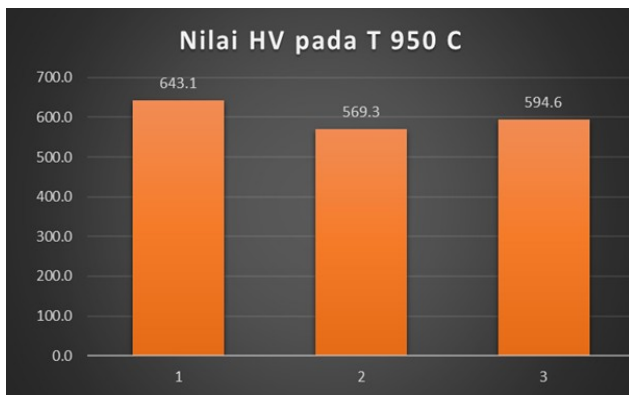


Gambar 8. Nilai Kekerasan pada Temperatur 900°C

Pada gambar 8 nilai kekerasan *sprocket* hasil dari proses *pack carburizing* untuk komposisi arang kulit tanduk kopi dan cangkang tiram pada temperatur 900°C nilai kekerasan untuk komposisi 80% : 20% = 473,6 HV, komposisi 70% : 30% = 471,0 HV, dan 60% : 40% = 506,2 HV, nilai kekerasan *sprocket* KW untuk semua variasi komposisi mengalami kenaikan dari *raw material sprocket* KW tanpa perlakuan. Kenaikan nilai kekerasan pada temperatur 900°C pada semua variasi komposisi masih dibawah nilai kekerasan dari *sprocket* original sebesar 570,48 HV.

- Pengujian Kekerasan Pada T: 950°C

Pada diagram histogram gambar 9 menjelaskan nilai kekerasan *gear sprocket non original* (KW) setelah dilakukan *pack carburizing* pada temperature 950°C. dengan persentase komposisi arang kulit tanduk kopi dan cangkang tiram adalah sebagai berikut: sampel A3 = (80% : 20%), sampel B3 = (70% : 30%), dan sampel C3 = (60% : 40%).



Gambar 9. Nilai Kekerasan pada Temperatur 950°C

Pada gambar 9 nilai kekerasan *sprocket* hasil dari proses *pack carburizing* untuk komposisi arang kulit tanduk kopi dan cangkang tiram pada temperatur 950°C nilai kekerasan untuk komposisi 80% : 20% = 643,1 HV, komposisi 70% : 30% = 569,3 HV, dan 60% : 40% = 594,6 HV, nilai kekerasan *sprocket* KW pada semua variasi komposisi mengalami kenaikan kekerasannya. Kenaikan nilai kekerasan pada temperatur 950°C pada semua variasi komposisi diatas dari nilai kekerasan *sprocket Original* (570,48 HV), sedangkan nilai kekerasan hasil proses *pack carburizing* yang mendekati

*sprocket Original* (570,48 HV) adalah pada komposisi 70% : 30% (569,3 HV)

IV. KESIMPULAN

Hasil dari pengujian kekerasan *sprocket original* adalah 570,48 HV (51,05 HRC) dan *sprocket* KW adalah 464.85 HV (46,4 HRC) mempunyai selisih sebesar 105,63 HV. Setelah dilakukan proses *pack carburizing* dengan variasi temperatur dan variasi komposisi kadar karbon dengan katalis, nilai kekerasan permukaan pada *sprocket* KW mengalami peningkatan, sehingga penggunaan karbon alternatif dari media arang kulit tanduk kopi dapat digunakan untuk proses *pack carburizing*. Kenaikan nilai kekerasan tertinggi pada temperatur 850°C dengan komposisi 60%: 40%, yaitu sebesar 656,6 HV dan pada temperatur 950°C dengan komposisi 80% : 20% sebesar 643,1 HV

Peningkatan kekerasan permukaan *sprocket* KW yang sama atau mendekati angka kekerasan *sprocket original* adalah pada temperatur 950°C dan komposisi 70% arang: 30% katalis yaitu sebesar 569,3 HV.

REFERENSI

- [1] R. Huda, "Analisa Fatik Pegas Daun Kendaraan Truck Mitsubishi Canter 125 PS Pengangkut Sawit dengan Metode Elemen Hingga (Tugas Akhir)," 2020
- [2] M. A. Rizki et al., "Pengaruh Proses Pack Carburizing Dengan Variasi Temperatur dan Karbon Aktif terhadap Kekerasan Permukaan Baja AISI 1020," vol. 6, no. 2, pp. 63–67, 2022.
- [3] P. Trihutomo, D. Teknik, M. Fakultas, T. Universitas, and N. Malang, "Pengaruh Proses Annealing pada Hasil Pengelasan" no. 1, pp. 81–88, 2014.
- [4] R. Zulkarnaini et al., "Evaluasi Sifat Mekanik Baja Pegas Daun Abstrak," vol. 7, no. 1, 2023
- [5] D. Herizen and R. Siswanto, "Pengaruh Variasi Holding Time dan Media Pendingin terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Sus 630 Metode Hardening," Jtam Rotary, vol. 2, no. 2, p. 149, 2020, doi: 10.20527/jtam rotary.v2i2.2411.
- [6] Andi, "Material Teknik," Phys. Rev. E, p. Material Teknik, 2011, [Online]. Available: <http://blog.ub.ac.id/andi/2011/11/26/tegangan-yield/>.
- [7] Y. Handoyo, "Pengaruh Quenching dan Tempering pada Baja JIS Grade S45C," J. Ilm. Tek. Mesin, vol. 3, no. 2, pp. 102–115, 2015.
- [8] A. Dermawan, Mustaqim, and F. Sidiq, "Pengaruh Temperatur Carburizing pada Proses Pack Carburizing terhadap Sifat-Sifat Mekanis Baja S21C," Engineering, vol. 14, no. 1, pp. 7–14, 2017, [Online]. Available: <http://e-journal.upstegal.ac.id/index.php/eng/article/view/738>.
- [9] L. S. Nugroho, "Pengaruh Proses Annealing terhadap Perubahan Kekerasan dan Struktur Mikro pada Pipa SA 179 yang telah Mengalami Pembengkokan," Skripsi, pp. 1–67, 2017.
- [10] H. Fathu Rohman, Y. Umardani, and A. Tri Hardjuno, "Pengaruh Proses Heat Treatment Annealing terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan pada Sambungan Las Thermite Baja Np-42," J. Tek. Mesin S-1, vol. 2, no. 3, pp. 195–203, 2014.
- [11] B. Pratowo and A. Fernando, "Analisa Kekerasan Baja Karbon AISI 1045 Setelah Mengalami Perlakuan Quenching," J. Tek. Mesin, vol. 5, no. 2, pp. 1–30, 2008.
- [12] I. Saefuloh, Haryadi, A. Zahrawani, and B. Adjiantoro, "Pengaruh Proses Quenching dan Tempering terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah dengan Paduan Laterit," J. Tek. Mesin, vol. 4, no. 1, pp. 56–64, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.unista.ac.id>
- [13] Eni, "濟無 No Title No Title No Title," Angew. Chemie Int. Ed. 6(11), 951–952., no. Mi, pp. 5–24, 1967.
- [14] AHMADI, "Sersasih," vol. 51, no. 3331101530, pp. 1–51, 2023.
- [15] F. A. Rauf, F. P. Sappu, A. M. A. Lakat, J. Teknik, M. Universitas, and S. Ratulangi, "Microhardness Vickers pada Berbagai Jenis Material Teknik," vol. 5, pp. 21–24, 2018.
- [16] ASM International, ASM Handbook: "Mechanical Testing and Evaluation". Ohio USA, 2000.

- [17] Callister. Jr., & William.D, Material and Science Engineering: an Introduction (8<sup>th</sup>ed), New Jersey, USA; Joh Wiley & Sons, Inc, 2009