



Pemanfaatan Limbah Serbuk Arang Kayu Jati (*Tectona Grandis L.F*) sebagai Material Brake Pads

Utilization of Teak Wood Charcoal Powder Waste (*Tectona Grandis L.F*) Used Brake Pads Material

Kosjoko^{1,a)}, Nely Ana Mufarida¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember

^{a)}Corresponding author: kosjoko@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Bahan yang terbuat dari asbestos sangat mengganggu kesehatan terutama yang berhubungan dengan paru-paru manusia begitu juga pemerintah juga melarang penggunaan asbestos sebagai bahan rem kendaraan. Bahan yang terbuat dari logam juga mengganggu kesehatan dan suara bising. Tugas utama pada *pad* adalah untuk menghentikan laju kendaraan dengan halus tanpa menimbulkan guncangan. Perlu adanya indikator-indikator untuk perbaikan sistem pengereman yang tidak mempengaruhi pada kendali kemudi pada saat terjadinya pengereman. Apa yang dimaksud dengan keausan adalah sebagian hilangnya material dari permukaan yang dipengaruhi oleh bahan yang bergesekan. Dari pengujian kekerasan *Spesimen brake pads* yang diperlakukan pirolisis temperatur 200°C dengan nilai yang tertinggi fraksi volume 50% : 50 % menggunakan alat *Shore Durometer* = 77 HD, terendah pirolisis fraksi volume 30%:70% = 49 *Hard Durometer*. Hasil uji keausan yang paling rendah yaitu campuran 50% arang hasil pirolisis dan 50% *epoxy* : 0.02404 mm³/kg.m, tertinggi fraksi volume 30% : 70% = 0,06598 mm³/kg.m. Pengujian *bending* tertinggi dengan fraksi volume 40% : 60% sebesar = 24,27 Mpa. Terendah fraksi volume 50% : 50% = 19,52 Mpa.

Kata Kunci: serbuk arang kayu jati; *brake pad*; *epoxy*

Abstract

Materials made from asbestos are very detrimental to health, especially those related to human lungs, as well as the government also prohibits the use of asbestos as a vehicle brake material. Materials made of metal also interfere with health and noise. The main job of the pad is to stop the vehicle smoothly without causing shock. It is necessary to have indicators for the improvement of the braking system that does not affect the steering control during braking. What is meant by wear is the partial loss of material from the surface that is affected by the friction material. From the hardness test, the brake pad specimens were treated with a pyrolysis temperature of 200°C with the highest value of volume fraction 50% : 50% using *Shore Durometer* = 77 HD, the lowest pyrolysis volume fraction 30% : 70% = 49 *Hard Durometer*. The lowest wear test results were a mixture of 50% pyrolysis charcoal and 50% *epoxy*: 0.02404 mm³/kg.m, the highest volume fraction was 30%: 70% = 0.06598 mm³/kg.m. The highest bending test with a volume fraction of 40% : 60% = 24.27 Mpa. The lowest volume fraction 50% : 50% = 19.52 Mpa.

Keywords: teak wood charcoal powder; *brake pad*; *epoxy*

PENDAHULUAN

Material Komposit di era globalisasi sekarang ini sudah masuk ke segala sendi kehidupan yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan manusia. Perlu diketahui komposit juga di aplikasikan ke dunia otomotif salah satunya produk *brake pads*. Mayoritas produk tersebut kebanyakan terbuat dari campuran bahan logam dan asbestos, bahan tersebut sama-sama berdampak pada kesehatan dan tidak ramah terhadap lingkungan.

Bagaimanakah untuk mencari pengganti dari bahan tersebut dengan syarat aman untuk lingkungan dan memenuhi syarat produk *brake pads*. Dalam solusi pemecahan masalah tersebut yaitu mencari pengganti dari bahan tersebut dengan material yang ramah lingkungan. Pada penelitian terdahulu, dalam pembuatan *brake pads* dengan bahan serbuk arang kayu jati melalui proses pirolisis pada temperatur 200 °C.

Dampak dari butiran debu asbes yang bertebaran dapat mengganggu pada kesehatan di lingkungan kita antara lain, bisa sakit paru-paru, sesak napas, sulit tidur, gatal-gatal dan iritasi.

Partikel-partikel *fly ash* yang berasal dari asbestos beterbangan dan terhirup oleh paru-paru manusia. Partikel *bottom ash* yang berasal dari logam juga berdampak buruk bagi kesehatan dan menimbulkan gesekan terutama bunyi bising. Begitu juga bahan yang terbuat dari logam kalau direm bisa menimbulkan bunyi berisik dan dapat merusak pada drum rem itu sendiri [1].

Bahan baku pembuatan kampas rem yang terbuat dari limbah biomassa seperti kayu jati, mahoni, tempurung kelapa merupakan upaya dalam mengatasi permasalahan yang ada pada saat ini. Kampas rem alternatif yang terbuat dari gergajian kayu jati salah satu bentuk terobosan baru di dunia material, bisa dicampur dengan pakai silikon ber-resin phenolic [2]. Limbah biomassa kayu jati, mahoni dan tempurung kelapa, merupakan material kayu yang keras dan ulet. Kalau kita lihat pohon tersebut merupakan jenis material yang diunggulkan, karena mempunyai sifat yang keras dan ulet [3].

Banyak penelitian terdahulu yang menggunakan serbuk kayu jati sebagai *brake pads* dengan beberapa campuran resin sebagai perekatnya. Pembuatan *brake pads* dengan campuran perbandingan serbuk kayu jati dan resin 40% : 60% dan 50% : 50% dengan uji mekanik kekerasan dan keausan. Spesimen tersebut diuji menggunakan alat yang bernama Durometer nilai yang didapat 56,3 HD, pada campuran 40% berbanding 60%. Keausan dengan nilai 0.001gr/mm².S. pada perbandingan 40% berbanding 60% [4].

Biomassa dari cangkang kelapa sawit, juga menjadi bahan baku pembuatan *brake pads* pada penelitian terdahulu. Kampas rem untuk sepeda motor dengan menggunakan dari bahan cangkang beserta serat pada buah kelapa sawit dan aluminium 100 *mesh* dengan perbandingan 70%,60% dan 50%. Dengan kekuatan lentur yang diperoleh 16.753 Mpa. Hasil uji kekerasan 170.833kg/cm²HRB. Untuk bahan kampas rem tersebut sudah layak dan memenuhi syarat untuk dipakai kampas rem [5].

Penelitian pembuatan *brake pads* dengan serbuk kayu jati dengan proses pirolisis juga mulai banyak dikembangkan. Proses pirolisis arang serbuk kayu jati, banyak menggunakan berbagai variasi suhu pemanasan. Kampas rem dengan nilai yang didapat koefisien geseknya 0,51 dengan nilai kekerasan 25,1 BHN dengan cara di oven pada temperatur 180°C selama 60 menit hasilnya sudah mendekati yang ada di pasaran 3,36 x10⁻⁷. Dan masih bisa dipanaskan lagi hingga temperatur 300°C material tersebut ternyata tidak rusak.

Kampas rem komposit bermetrik penolak, serat yang digunakan tempurungnya kelapa yang dihaluskan menjadi serbuk dan dicampur dengan aluminium. Bahan uji di oven pada temperatur 300, 250, dan 200°C [6].

Pirolisis merupakan proses pemanasan dengan miskin udara, sehingga dapat menghasilkan proses pengurangan yang sempurna. Tahapan pirolisis ada empat dimulai dari penguapan air, 180°C untuk proses pirolisis di gunakan hemiselulosa, 300°C suhu selulosa, 500°C untuk suhu lignin [7].

Banyak bahan yang mulai dikembangkan dalam pembuatan kampas rem yaitu campuran aluminium dengan *filler* keramik [8]. Bahan komposit kampas rem otomotif yang terbuat matriks material aluminium dengan *filler* keramik. Matriks yang terbuat dari aluminium mempunyai kelebihan bila dibandingkan dengan logam *ferro* lebih ringan dan kekerasan yang cukup tinggi, ekspansi panas rendah, dan tahan keausan

Limbah biomassa yang masih belum tersentuh, mempunyai manfaat sebagai energi alternatif seperti briket. Pembuatan briket gergajian kayu menjadi komunitas bahan bakar alternatif limbah biomassa [9]. Manfaat yang didapat bisa mengatasi limbah serbuk gergaji kayu, dapat mengatasi kekurangan energi dengan memanfaatkan biomassa (*waste to energy*) yang ada di lingkungan kita. yang menarik. Ada hubungannya dengan kebijakan pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang energi.

Limbah biomassa juga banyak dimanfaatkan sebagai karbon aktif melalui proses pirolisis. Pembuatan karbon aktif cukup menggunakan serbuk dari kayu cukup di sinari matahari yang bertujuan didehidrasi [10]. Pirolisis salah satu proses karbonisasi pada temperatur 300, 275, 250, dan 225°C ditahan selama 1 jam dan diaktivasi NaOH dengan waktu 3 jam.

Serbuk gergaji juga bisa dicampur dengan batu bara sebagai bahan bakar briket. Bahan yang digunakan serbuk gergaji kayu dan batu bara Pirolisis material terbuat dari serbuk gergajian kayu dan serbuk terbuat dari batu bara dengan proses oven pada temperatur 400°C [11]. Guna dijadikan briket lalu diuji dengan proksimat serta uji pembakaran dengan tujuan untuk memperoleh nilai kalor pada biomassa tersebut.

Proses pemisahan asap dan air material serbuk kayu. Material dimasukkan ke dalam klin baja tahan karat dan di lengkapi dengan pemanas listrik [12]. Dalam proses menggunakan suhu 500, 400, 300, 200, dan 110°C dan ditahan selama 5 jam. Guna pemisahan diendapkan dalam waktu 24 jam.

Variasi waktu yang digunakan adalah 30, 45, 60, 75, dan 90 menit dengan jenis kayu yang digunakan

adalah campuran kayu jati dan kayu mahoni bermassa 100 gram dengan rasio massa 50 : 50. Proses pirolisis dilakukan dengan menggunakan tungku atau kompor dengan *setting* pemanasan maksimum dikompor. Hasil asap cair dilakukan analisis terhadap volume asap cair, densitas, (%) *yield*, nilai pH dan warna yang dihasilkan. Dalam penelitian ini volume asap cair terbesar yang dihasilkan selama 90 menit memiliki densitas sebesar 0,48 g/cm³ dan *yield* sebesar 58 %. Nilai pH yang dihasilkan yaitu 5 dan produk asap cair berwarna hitam pekat. Hasil asap cair pada penelitian termasuk dalam golongan *grade* 3. Semakin lama waktu proses pirolisis maka semakin banyak volume asap cair yang dihasilkan.

Material pembuatan biomassa adalah serbuk gergajian kayu bayam. Alat pirolisis digunakan untuk mendapatkan hasil data yang akurat variasi dengan temperatur mulai yang tertinggi, 500, 450, 400, dan 350°C [13]. Variasi waktu yang digunakan adalah, 180, 150, 120, 90, 60 menit. Untuk mendapatkan hasil kalor yang optimum pada temperatur 350°C hasil yang di dapat 7.121 kal/gr. Durasi yang digunakan 90 menit.

Material *filler* yang digunakan untuk komposit kampas rem meliputi, *cashew* (3,47%), Grafit (30,68%), NBR (2,77%), CaCO₃ (40,48%) *fly ash* 4,24 %, phenolic 15,79%, serat cantula 2,56% [14]. Serat sebelum dibuat kampas rem di perlakukan perendaman menggunakan akuades dan dicampur dengan NaOH dengan jumlah 5% kurun waktu 4 jam.

Penelitian keausan ini sudah hasilnya sudah masuk yang masih yang diinginkan walaupun sudah diuji perjalanan jauh suhu pada *pads* berkisar 150°C sampai 200°C sebab ini menyangkut keawetan suatu kualitas *pads* tersebut [15]. Syarat uji SNI untuk koefisien gesek adalah 1,02. Hasil uji nilai koefisien geseknya 1,10 termasuk masih memenuhi syarat yang diinginkan SNI.

Hasil data pengujian keausan spesifik diperlihatkan pada Gambar 7. Nilai keausan spesifik pada kampas rem kendaraan penumpang tipe OES adalah sebesar 1,9x10⁻⁸ mm²/N, Sedangkan pada kampas rem kendaraan penumpang tipe AM adalah sebesar 2,5x10⁻⁸ mm²/N [16].

Akibat Keausan dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, dipengaruhi mekanisasi korosi dan kimiawi. Keausan mekanisasi yaitu penyebabnya gesekan antara material satu dengan yang lain di dalam permukaan benda tersebut. Pada gesekan yang menjadi kasar tersebut timbullah yang dinamakan perubahan pada geometri material tersebut.

Berikut adalah laju keausan:

$$N = \frac{W_0 - W_1}{\Delta t} \text{ (gr/mm}^2 \text{ detik)} \quad (1)$$

Yang mana,

N = Nilai keausan (gr/mm² .detik)

W₀ = Material awal harus ditimbang sebelum keausan (gr)

W₁ = Material akhir setelah keausan (gr)

t = Waktu pengereman (detik)

Δ = Ukuran luas material yang aus (mm²)

Tester Hardness Shore Durometer

Dalam penggunaan alat ukur untuk pengujian kekerasan pada material elastomer, karet dan polimer, ASTM D2240-00 ini yang tepat seperti pada Gambar 1. di bawah ini:



Gambar 1. Tester *hardness shore* durometer

Bending

Uji *bending* (Gambar 2) bertujuan (*Flexural Strength*) sejauh mana kelenturan material komposit yang mau dipakai untuk *pads* tersebut. Dalam pengujian menggunakan standar ASTM D790 untuk penggunaan uji statis. Kekuatan *bending* yaitu sejauh mana dapat menerima beban tanpa terjadinya kegagalan atau deformasi pada benda tersebut yang diakibatkan oleh pengujian *bending* spesimen yang paling atas mengalami tekanan yang berat, sedangkan yang bawah mengalami kekuatan tarik. Dalam material komposit *pads* ini kekuatan tekan dan gesek lebih tinggi bila dibandingkan dengan penahanan hasil daya tarik. Rumus kekuatan lentur material.

$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (2)$$

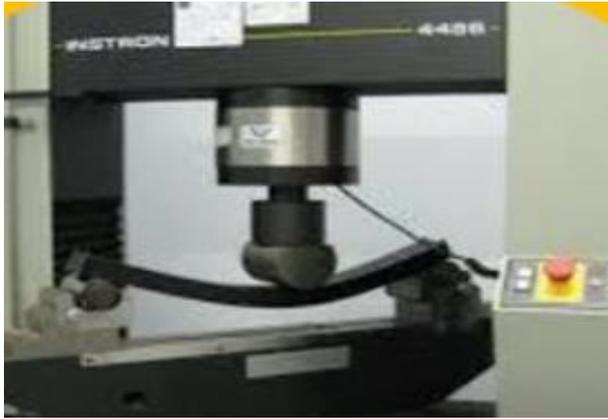
Yang mana,

σ = Tegangan

F = gaya

b = lebar

d = tebal



Gambar 2. Mesin uji *bending*



Gambar 3. Penekanan *brake pads* setelah di cetak

METODE PENELITIAN

Serbuk kayu diperlakukan secara pirolisis pada temperatur 200°C, dan ditahan pada jangka waktu 150 menit. Berikut proses penyiapan pembuatan *brake pads*, menyiapkan serbuk yang sudah di pirolisis, *epoxy*, alat bejana ukur dan cetakan spesimen. Untuk pembuatan *pads* material masing-masing perlu ditakar menggunakan alat ukur dengan jeli biar perbandingan antara serbuk arang dan *epoxy* sesuai yang diinginkan, yaitu 30 % : 70 % , 40 % : 60 % dan 50 % : 50 %.

Langkah selanjutnya baru dicampur secara merata lalu dituangkan ke cetakan untuk dibuat spesimen, Setelah dicetak perlu adanya pengepresan dengan menggunakan alat pres (Gambar 3) dengan beban seberat 2000 kg dengan waktu 5 menit, material yang sudah jadi perlu di oven selama 45 menit pada suhu 250 °C dengan tujuan daya rekat *pads* benar benar kuat, perlu adanya uji mekanik, kekerasan, *bending* dan keausan. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian penulis.

Peneliti terdahulu, material *pads* banyak terbuat dari serbuk kayu lain antaranya, sengan laut, kayu kelapa, mahoni, ampas tebu, dan serbuk logam resin yang digunakan poliester.

Penelitian ini terbuat dari serbuk kayu jati yang di pirolisis pada temperatur 200°C, secara tertutup dengan rentan waktu 120 menit dan didinginkan secara pelan-pelan, keunggulan menggunakan arang pirolisis ini materialnya tahan bertahun-tahun dan tidak mudah rusak atau berubah sifat, tidak menggunakan logam. Perbandingan variasi campuran arang dan *epoxy* juga tidak sama, resin yang digunakan *epoxy* (Gambar 4).

Keterbaruan penelitian ini, perlakuan pirolisis pada temperatur 200°C dan di *holding* selama 120 menit didinginkan secara perlahan lahan tujuannya adalah, kualitas material serbuk tahan mengeras dan serbuk bisa membuka pori-porinya dengan tujuan waktu di buat *pads* daya rekatnya tinggi serta kekerasannya juga sesuai yang diinginkan.



Gambar 4. Cairan *epoxy*

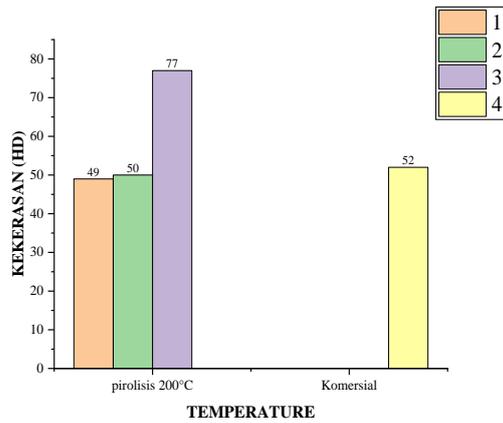
Proses persiapan spesimen dilakukan untuk mendapatkan ukuran spesimen agar sesuai dengan tahap pengujian. *Brake pads* dipotong dengan dimensi sebagai berikut : Dengan panjang spesimen 10 mm, dengan lebar spesimen 10 mm dan tebal spesimen ± 15 mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil uji kekerasan pada spesimen *pads* dengan fraksi yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 1. dan Gambar 5. berikut ini,

Tabel 1. Hasil uji kekerasan

No	Temperatur Karbonasi (°C)	Fraksi Volume (%)	Kekerasan HD
1.	Pirolisis 200	30 Filler : 70 Epoxy	49,0
		40 Filler : 60 Epoxy	50,0
		50 Filler : 50 Epoxy	77,0
2.	Komersial	Standar	52,0



Gambar 5. Diagram hasil uji kekerasan *brake pads*

Keterangan :

1. Fraksi volume 30 %
2. Fraksi volume 40 %
3. Fraksi volume 50 %
4. Standar

Komposit *brake pads* dengan campuran yang berbeda komposisinya ternyata dapat disimpulkan semakin banyak arang gergajian kayu jati dapat meningkatkan kekerasan yaitu pada fraksi volume 50 % arang : 50 % resin *epoxy* dengan hasil, 77 HD.

Analisis Hasil Data Pengujian Keausan

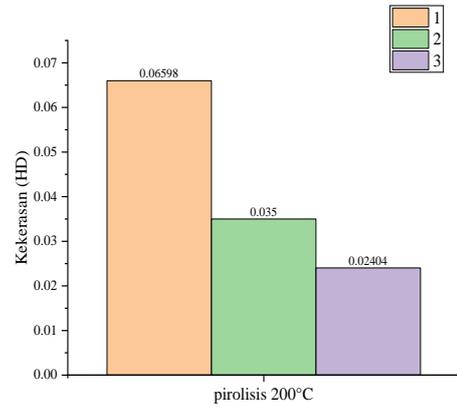
Dalam hal ini dibahas hasil dari uji keausan *brake pads* material komposit hasil pirolisis 200 °C, yang mana tiap spesimen nilai hasilnya akan berbeda-beda pada Tabel 2. dan Gambar 6. di bawah ini:

Tabel 2. Hasil Pengujian spesimen keausan *brake pads* dengan mesin Ogoshi

Variasi		TD	JD	PW	VT	K
A	R					
30	70	3,45	13,6	5,83	4,19	0,065
40	60	3,35	13,6	4,72	2,22	0,035
50	50	3,45	13,6	4,17	1,52	0,024

Keterangan

- A : Arang (%)
 R : Resin (%)
 TD : Tebal *disc* (r:mm)
 JD : Jari-jari *disc* (W:mm²)
 PW : Panjang *wear* (B:mm²)
 VT : Volume tergores (W:mm²)
 K : Keausan (Ws:mm²/kg.m)



Gambar 6. Grafik hasil uji keausan

Keterangan :

1. Fraksi volume 30 %
2. Fraksi volume 40 %
3. Fraksi volume 50 %

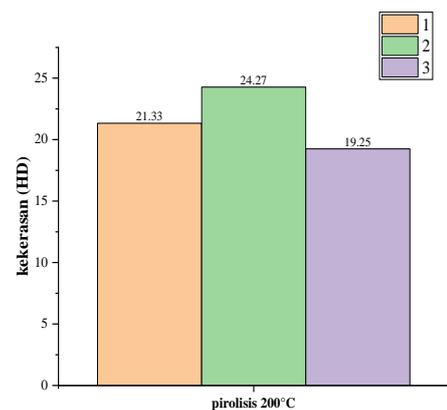
Dari hasil pengujian spesimen menggunakan mesin ogoshi, pada fraksi volume 50% arang gergajian kayu jati : 50% resin *epoxy* dengan nilai keausan yang paling rendah yaitu 0,02 mm³/kg.m, berarti semakin banyak serbuk arangnya daya ikat antara *filler* dan resin semakin bagus.

Analisa uji *bending*

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan data seperti pada Tabel 3. dan Gambar 7. di bawah ini.

Tabel 3. Hasil pengujian *bending*

No	Variasi fraksi volume (%)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Gaya (N)	Tegangan <i>bending</i> (Mpa)
1	arang: 30 epoxy: 70	15,73	6,17	230	21,33
2	arang: 40 epoxy: 60	15,73	6,17	220	24,27
3	arang: 50 epoxy: 50	15,73	6,17	180	19,52



Gambar 7. Grafik hasil pengujian *bending*

Keterangan :

1. Fraksi volume 30 %
2. Fraksi volume 40 %
3. Fraksi volume 50 %

Dari hasil pengujian *bending* dapat disimpulkan bahwa untuk komposit *brake pads* arang gergajian kayu jati semakin tinggi fraksi volume 50 % arang : 50% resin *epoxy* hasil *bending* 19,52 Mpa. Pada campuran tersebut menunjukkan bahwa daya ikatnya antara arang dan resinnya paling bagus bila dibandingkan dengan yang lainnya.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan pengujian kekerasan spesimen *brake pads* yang diperlakukan pirolisis temperatur 200 °C dengan nilai yang tertinggi fraksi volume 50 % : 50 % menggunakan alat *Shore D Durometer* = 77 HD, terendah pirolisis fraksi volume 30 % : 70 % = 49 *hard durometer*. Hasil uji keausan di dapatkan yang terendah yaitu : Fraksi volume 50 % : 50 % = 0,02404 mm³/kg.m, tertinggi fraksi volume 30 % : 70 % = 0,06598 mm³/kg.m. Pengujian *bending* tertinggi dengan fraksi volume 40 % : 60 % sebesar = 24,27 Mpa. Terendah fraksi volume 50 % : 50 % = 19,52 Mpa.

Saran

1. Untuk perlakuan pirolisis bisa memvariasikan temperatur yang lain jangan hanya 200°C saja.
2. Bisa menggunakan resin yang lain selain *epoxy*.
3. Serbuk kayu jati untuk dijadikan *brake pads* ada yang perlu diperlakukan secara kimiawi maupun dikarbonisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Arif, D. Irawan, and M. Jainudin, "Karakteristik Sifat Mekanis Disk Pad Komposit Serbuk Kayu Jati – Polyester," *Semin. Nas. Teknol. dan Rekayasa*, pp. 169–176, 2019.
- [2] M. N. Pramuko Ilmu Purboputro, "Pembuatan Kampas Rem Menggunakan Variasi Butiran Mesh Terhadap Nilai Tingkat Kekerasan, Keausan Dan Koefisien Gesek," vol. 21, no. 1, pp. 35–45, 2020.
- [3] F. Yudhanto, S. A. Dhewanto, and S. W. Yakti, "Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati," *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–27, 2019, doi: 10.18196/jqt.010104.
- [4] G. Y. Kosjoko, Muhammad A'an Auliq, "Serbuk Kayu Jati (*Tectona Grandis* L.F) sebagai Bahan Penguat Komposit Brake Pad Sepeda Motor Bermatriks Epoxy *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*," vol. 4, no. 13, pp. 1–6, 2020.
- [5] Warman, H. Darmadi, Abdillah, and Safitri, "Pengembangan bahan kampas rem tromol (drum brake pad) sepeda motor berbahan dasar komposit cangkang dan serat buah kelapa sawit Dengan poliuretan sebagai pengikat," *Reg. Dev. Ind. Heal. Sci. Technol. Art Life*, pp. 122–129, 2016.
- [6] I. D. . Ary Subagia, I. Adi atmika, N. Suardana, R. GDS, and S. FS, "Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Kekerasan dan Keausan Kampas Rem Berbasis Komposit Hibrida Serbuk Tempurung Kelapa/Alumina/Phenolic Resin," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 11, no. 2, p. 42, 2018, doi: 10.24843/jem.2018.v11.i02.p02.
- [7] W. A. Rizal *et al.*, "Pirolisis Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Campuran: Parameter Proses dan Analisis Produk Asap Cair," *J. Ris. Teknol. Ind.*, vol. 14, no. 2, p. 353, 2020, doi: 10.26578/jrti.v14i2.6606.
- [8] R. Waluyo, D. Rahmalina, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Pancasila, "Uji Performasi Disc Brake Sepeda Motor Material Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Partikel Keramik," *Uji Performasi Disc Brake Sepeda Mot. Mater. Komposit Matriks Alum. Berpenguat Partikel Keramik*, p. 5, 2006.
- [9] M. N. A. Endah Ayuningtyas, "Teknik Lingkungan Institut Teknologi Yogyakarta Teknik Lingkungan Universitas Proklamasi 45 Alamat email: endaha25@ity.ac.id Abstrak Characteristic Study Of Pyrolysis Process And Charcoal From Sawdust Briquette With Heating Rate Variations Using Single R," vol. 19, no. 1, pp. 1–14, 2019.
- [10] K. S. Ita Handayani, "Pengaruh Waktu Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu," vol. 8, no. 9, pp. 28–35, 2022.
- [11] M. Arman, "Pirolisis Bahan Batubara Dan Serbuk Gergaji," vol. 03, no. 02, pp. 27–32, 2018.
- [12] M. Wijaya, E. Noor, T. Tedja, And G. Pari, "Asap Cair Dari Serbuk Gergaji Kayu Pinus Pyrolysis Temperature Change At Chemical Wood Vinegar Component From Pine Wood Sawdust," vol. 1, no. 2, pp. 73–77, 2008.
- [13] I. Nuhardin, "Kualitas Limbah Serbuk Gergaji Untuk Arang Yang Diperoleh Dengan Metode Pirolisis Lambat Irhamni Nuhardin," vol. 7, no. 2, pp. 166–173, 2018.
- [14] I. T. Herru Santosa Budiono, Eko Surojo, Nurul Muhayat, "Analisis pengujian porositas terhadap hasil post curing komposit kampas rem," vol. 4, no. 2, pp. 29–35, 2020.

- [15] S. Sumiyanto, A. Abdunnaser, and A. N. Fajri, "Analisa Pengujian Gesek, Aus Dan Lentur Pada Kampas Rem Tromol Sepeda Motor," *Bina Tek.*, vol. 15, no. 1, p. 49, 2019, doi: 10.54378/bt.v15i1.872.
- [16] R. Kennedy, E. Surojo, and W. Wisnu Raharjo, "Studi Karakteristik Kampas Rem Kendaraan Penumpang Type Oes (Original Equipment Sparepart) Dan Am (After Market) Pada Dry Dan Wet Sliding," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 18, no. 1, pp. 28–34, 2019, doi: 10.20961/mekanika.v18i1.35043.