

VARIASI CAMPURAN FLY ASH BATUBARA UNTUK MATERIAL KOMPOSIT

Sunardi^{1*}, Moh. Fawaid², Fikri Rasyid Noor M³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jendral Sudirman km 03, Cilegon 42435
*Email : parikesit_ka@yahoo.co.id

ABSTRAK

*Tanaman bamboo yang melimpah di Indonesia dapat di jadikan material alternative bahan bangunan serta tujuan khusus dengan mencampurnya dengan bahan lain. Serbuk bambu betung dan fly ash batubara berpotensi untuk dijadikan bahan komposit alternatif kampas rem. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan komposisi material komposit sebagai bahan alternatif kampas rem, dengan harga terjangkau, ramah lingkungan dan karakteristik yang baik. Bahan yang digunakan adalah serbuk bambu betung (*dendrocalamus asper*), serbuk fly ash batubara, dan resin epoksi. Variasi komposisi antara serbuk bambu dan fly ash, masing-masing K1(50:10%), K2(45:15%), dan K3(40:20%). Pembuatan bahan dilakukan dengan proses mixing kemudian kompaksi metode cold press single punch dengan tekanan 400 kg/cm². Selanjutnya, bahan disintering pada temperatur 150°C selama 1 jam. Karakteristik yang diteliti yaitu kekerasan, laju keausan, densitas, porositas, dan pengamatan struktur mikro. Dari hasil pengujian komposit dengan karakteristik terbaik yaitu K3, dengan nilai kekerasan 51,67 N/mm², laju keausan 2,84E-07 gr/mm².s, densitas 1,33 gr/cm³, dan porositas 0,50 %.*

Kata kunci: serbuk, bambu betung, fly ash, komposisi material

1. Pendahuluan

Dunia otomotif berkembang pesat mulai dari jenis scooter hingga mobil low cost green car sehingga kebutuhan sparepartpun semakin besar. Karena tidak menentunya pula kondisi perekonomian Indonesia, maka dorongan untuk membuat produk material otomotif yang ekonomis, berkualitas, serta dapat diterima oleh pasar juga semakin tinggi. Kini para peneliti dituntut untuk melakukan penelitian terhadap komponen kendaraan bermotor guna memenuhi kebutuhan pasar otomotif dalam negeri, Salah satunya adalah kampas rem. Bila ditinjau dari aplikasinya kampas rem merupakan komponen yang vital pada kendaraan bermotor, karena berfungsi sebagai penghenti laju kendaraan. Namun kampas rem termasuk komponen *fast moving* yang memiliki umur pakai rendah, antara 6 bulan sampai 1 tahun pemakaian normal. Saat berkendara biasanya pengemudi akan lebih sering menggunakan rem untuk mengurangi laju kendaraan untuk menghindari tabrakan. Dalam aplikasinya kampas rem harus memiliki sifat fisik dan karakteristik yang baik dengan faktor keamanan mendukung. Kampas rem merupakan media gesek untuk menghentikan putaran sebagai bidang geseknya pada roda, yang berkaitan juga dengan beban dan kecepatan putaran. Sebagai media yang bergesekan secara kontinyu, beberapa sifat dan karakteristik harus dimiliki kampas rem yaitu laju keausan dan kekerasan. Kampas rem terdiri dari tiga bahan penyusun yaitu bahan pengikat, bahan serat, dan bahan pengisi. Untuk mengikat berbagai zat penyusun di dalam bahan kampas rem tersebut digunakan resin, yang memiliki sifat utamanya sebagai pengikat.

Untuk memenuhi kebutuhan sifat karakteristiknya, bahan serat dan pengisi kampas rem dibuat dari campuran material yang pada dasarnya memiliki sifat fisik dan mekanik cukup baik seperti material logam. Pada bahan pengisi ini terdiri dari dua jenis yaitu bahan organik dan anorganik, bahan organik misalnya abu dan remah karet sedangkan bahan anorganik seperti MgO dan CaCO. Selanjutnya pada bahan serat terdiri dari dua jenis yaitu serat asbestos dan non asbestos, serat asbestos merupakan paduan kuningan dan serat metal yang disatukan menggunakan binder (bahan pengikat) namun belum dicetak. Namun pada 1994, ditemukan bahwa asbestos mengandung zat Karsinogen yang dituding sebagai salah satu zat penyebab kanker paru-paru dan efek itu baru terasa setelah 10-15 tahun. Sejak itu, produksinya pun mulai perlahan dihentikan. Untuk serat non asbestos terdapat dua macam yaitu low *steel* yang masih mengandung besi meski sedikit dan *non-steel* yang tidak menggunakan besi. Bahan serat non asbestos diantaranya, aramid/ kevlar/ twaron, *fiberglass*, *carbonfiber*, dan *steelfiber*.

Selain ramah lingkungan kampas rem dengan serat non-asbestos juga memiliki kelebihan lain seperti tidak mudah bunyi, tahan panas dan memiliki friksi baik. Hanya ada 2 kelemahannya, warnanya yang hitam membuat abu hasil pengikisan terlihat lebih kotor dan harganya pun lebih mahal dari kampas rem asbestos. Kini beberapa produsen telah meninggalkan penggunaan asbestos.

Salah satu hasil penelitian tentang material kampas rem adalah *Prototipe Disc Pad dan Brake Shoes* dari Limbah Ampas Tebu (Daniel Malau, 2007). Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa kekuatan bahan yang dihasilkan hampir sebanding dengan kekuatan bahan logam, meskipun sedikit lebih rendah.

Hal inilah yang memberikan ide penelitian untuk membuat komposit sebagai bahan alternatif kampas rem kendaraan. Dimana pada komposit bermatriks resin epoksi dengan penguat serbuk bambu dan campuran *fly ash* batubara untuk aplikasi kampas rem kendaraan. Sehingga diharapkan dapat menjadi solusi alternatif pengembangan teknologi material dengan pemanfaatan limbah. Karena kandungan silika yang tinggi pada *fly ash* juga untuk meningkatkan sifat mekanis komposit sebagai kampas rem kendaraan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian Komposit

Komposit berasal dari kata kerja “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung. Komposit atau bahan komposit berarti kombinasi dari dua atau lebih bahan yang berlainan dengan sifat berbeda, dalam skala makroskopik dan membentuk komponen tunggal. Sehingga dalam hasil akhir komposit tersebut bahan tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik, jadi dapat diamati secara visual. Perbedaan bahan dapat menjadi kombinasi pada skala mikroskopik seperti pada paduan logam, namun material yang dihasilkan adalah untuk semua tujuan praktis makroskopik homogen komponen tidak dapat dibedakan secara visual (Jones, 1999).

Di era moderen ini teknologi material terus dikembangkan, untuk mendapatkan material dengan kekuatan lebih dan dengan bahan baku yang lebih efisien dapat dilakukan dengan teknologi komposit. Komposit dapat terdiri dari beberapa komponen material yaitu matriks, material penguat dan material pengisi. Dari sekian banyak jenis material pembentuk komposit, semuanya dapat dikelompokkan ke dalam tiga bagian, yaitu :

1. Matriks

Matriks berfungsi sebagai pengikat dan pelindung bahan material terhadap pengaruh lingkungan.

2. Material penguat (*reinforcement*)

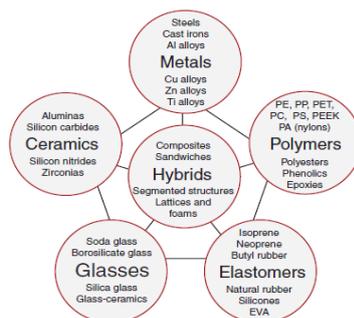
Material penguat berfungsi untuk membentuk struktur yang memberikan kekuatan pada komposit.

3. Material pengisi (*filler*)

Material pengisi berfungsi untuk mengisi ruang komposit juga untuk mencegah terjadinya porositas bahan komposit tersebut.

Beberapa definisi komposit sebagai berikut :

1. Tingkat dasar : pada molekul tunggal dan kisi kristal, bila material yang disusun dari dua atom atau lebih disebut komposit (contoh senyawa, paduan, polimer dan keramik).
2. Mikrostruktur : pada kristal, fase dan senyawa, bila material disusun dari dua fase senyawa atau lebih disebut komposit (contoh paduan Fe dan C).
3. Makrostruktur : material yang disusun dari campuran dua atau lebih penyusun makro yang berbeda dalam bentuk dan/atau komposisi dan tidak larut satu dengan yang lain disebut material komposit (definisi secara makro ini yang biasa dipakai).



Gambar 1. Struktur hubungan antar material (Callister, 2007)

Material komposit merupakan material non logam yang saat ini semakin banyak digunakan mengingat kebutuhan material terus meningkat. Di samping memprioritaskan sifat mekanik juga dibutuhkan sifat lain yang lebih baik misalnya ringan, tahan korosi dan ramah lingkungan. Selain itu sifat teknologi merupakan salah satu sifat yang harus dimiliki oleh material komposit tersebut, dimana sifat teknologi adalah kemampuan material untuk dibentuk atau diproses. Proses pembuatan atau proses produksi dari komposit merupakan hal yang sangat penting dalam menghasilkan material komposit tersebut. Banyak cara atau metoda yang digunakan untuk menghasilkan material komposit yang diinginkan.

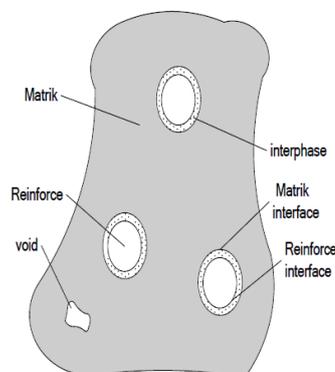
2.2 Klasifikasi Komposit

Komposit dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu kelompok komposit berdasarkan klasifikasi bahan matriknya dan kelompok komposit berdasarkan klasifikasi bahan penguatnya.

2.2.1 Klasifikasi Berdasarkan Matrik

Matrik sebagai pengikat dan pelindung komposit memegang peranan penting dalam mentransfer tegangan, melindungi bahan dari lingkungan dan menjaga permukaan bahan dari pengikisan. Matrik harus memiliki kompatibilitas yang baik dengan material. Klasifikasi komposit berdasarkan pada jenis matriks yang digunakan, terbagi menjadi tiga jenis. Yaitu sebagai berikut:

1. Komposit bermatrik polimer (*Polymer Matrix Composites/PMCs*).
Komposit bermatrik polimer adalah komposit yang menggunakan bahan polimer sebagai penyusun utama atau komposisi dominan.
2. Komposit bermatrik logam (*Metal Matrix Composites/MMCs*)
Komposit bermatrik logam adalah komposit yang menggunakan bahan logam sebagai penyusun utama atau komposisi dominan.
3. Komposit bermatrik keramik (*Ceramic Matrix Composites/CMCs*)
Komposit bermatrik logam adalah komposit yang menggunakan bahan keramik sebagai penyusun utama atau komposisi dominan.



Gambar 2. Fasa-face dalam komposit

2.2.2 Klasifikasi Berdasarkan Penguat (*Reinforce*)

Penguat dalam teknologi komposit didefinisikan sebagai suatu bahan penguat utama, memiliki sifat yang lebih unggul dari material pengisi dan merupakan suatu konstruksi/rangka tempat melekatnya matriks. Berdasarkan cara penguatannya komposit dibedakan menjadi tiga (Jones,1999) yaitu :

1. *Fibrous Composite* (komposit serat)
Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan menggunakan penguat berupa serat atau *fiber*. *Fiber* yang digunakan bisa berupa *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers* (*poly aramide*) dan sebagainya. *Fiber* ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Contohnya serat gelas dalam matriks polimer (GFRP) dan serat karbon dalam matriks polimer (CFRP).
2. *Laminated Composite* (komposit lapisan)
Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri. Contohnya : Tripleks, *Playwood*,.
3. *Particulate Composite* (komposit partikel)
Merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya. Contohnya : komposit dengan penguat serbuk logam, beton dengan partikel penguat krikil.

2.3 Bahan Penyusun

2.3.1 Resin

Resin adalah suatu material yang berbentuk cairan atau dapat berbentuk padatan, dan akan meleleh pada suhu diatas 200⁰C. Pada dasarnya resin adalah matriks, sehingga memiliki fungsi yang sama dengan matriks yaitu sebagai perekat/pengikat dan pelindung. Komposit bahan kanvas rem yang akan diteliti adalah komposit yang berpengikat resin epoksi, resin ini berfungsi untuk mengikat berbagai zat penyusun di dalam bahan tersebut. Resin terdiri dari 2 macam yaitu resin termoset dan termoplastik, memiliki perilaku berbeda bila dipanaskan. Perbedaan sifatnya ditentukan oleh struktur dalamnya.

2.3.2 Abu Terbang (*fly ash*)

Abu terbang (*fly ash*) adalah salah satu bahan sisa dari pembakaran bahan bakar terutama batubara, berbentuk partikel halus yang merupakan endapan dari tumpukan bubuk hasil pembakaran batubara. Jumlahnya cukup besar, sehingga memerlukan pengolahan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, perairan dan penurunan kualitas ekosistem. Abu terbang (*fly ash*) ini tidak terpakai dan jika ditumpuk saja disuatu tempat dapat membawa pengaruh yang kurang baik bagi kelestarian lingkungan. Abu terbang ini selain memenuhi kriteria sebagai bahan penguat, abu terbang juga memiliki sifat-sifat yang baik, seperti memiliki porositas rendah karena partikelnya halus. Bentuk partikel abu terbang adalah bulat dengan permukaan halus, dimana hal ini sangat baik untuk workabilitas. Abu terbang (*fly ash*) memiliki beberapa kandungan/unsur kimia utama seperti SiO₂ 52,00%, Al₂O₃ 31,86%, Fe₂O₃ 4,89%, CaO 2,68% dan MgO 4,66%.

2.3.3 Bambu Betung

Bambu betung (*Dendrocalamus asper*) adalah salah satu jenis bambu yang memiliki potensi ekonomi bila dimanfaatkan dengan baik. Tanaman ini dapat dijumpai tumbuh di daerah dataran rendah hingga dataran tinggi (2000 meter dpl), dan di tanah subur pada lahan basah akan tumbuh lebih baik. Bambu betung merupakan jenis bambu yang kuat, biasa digunakan sebagai material konstruksi seperti rumah dan jembatan. Tingginya bisa mencapai 20-30 m dengan diameter 8-20 cm, dipanen pada umur 3-4 tahun. Bambu betung memiliki beberapa kandungan/unsur kimia yang terdiri dari 53% holoselulosa, 19% pentosan, 25% lignin dan 3% abu.

3. Metode Penelitian

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat Yang Digunakan

- a. Gergaji kayu
- b. Kikir kayu

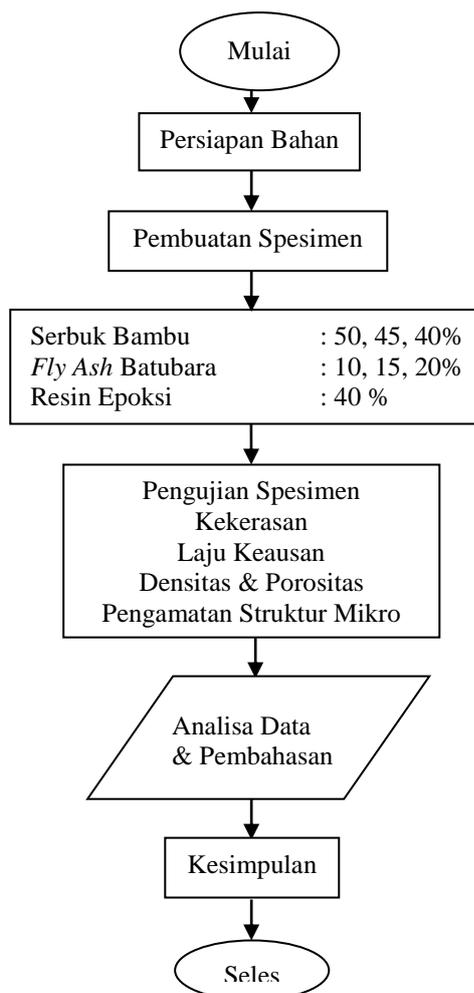
- c. Meja ragum
- d. Gelas ukur
- e. Mesin *screening* + ayakan
- f. *Mixer* + wadah
- g. Mesin *press* + cetakan
- h. Oven
- i. Timbangan
- j. Alat uji kekerasan
- k. Alat uji laju keausan
- l. Alat uji densitas dan porositas
- m. Alat pengamatan struktur permukaan

3.1.2 Bahan Yang Digunakan

- a. Serbuk bambu
- b. Serbuk *fly ash* batubara
- c. Resin epoksi
- d. *Wax*
- e. Lem *packing*

3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir untuk memberi gambaran tentang langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3. Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pembuatan Spesimen

Pada hasil pembuatan spesimen material komposit yang terdiri dari beberapa komposisi bahan penyusun. Pada komposisi spesimen komposit pertama (K1) terdiri dari serbuk bambu 50% (14,719 gr), serbuk *fly ash* batubara 10% (11,666 gr) dan resin epoksi 40% (40,859 gr). Spesimen komposit kedua (K2) terdiri dari serbuk bambu 45% (13,247 gr), serbuk *fly ash* batubara 15% (16,599 gr) dan resin epoksi 40% (40,859 gr). Kemudian untuk spesimen komposit ketiga (K3) terdiri dari serbuk bambu 40% (11,775 gr), serbuk *fly ash* batubara 20% (22,132 gr) dan resin epoksi 40% (40,859 gr). Proses pembuatan bahan komposit dilakukan dengan tekanan kompaksi sebesar 400 kg/cm². Hasil proses kompaksi kemudian disintering pada temperatur 150°C selama 60 menit. Bentuk awal spesimen berbentuk silinder pejal dengan diameter 40 mm dan tinggi 40 mm.



Gambar 4. Spesimen Bahan Komposit K1, K2, dan K3

4.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada bahan komposit ini dilakukan dengan metode *ball indentation* ISO 2039-1, yaitu menggunakan indenter bola baja berdiameter 5mm dan pembebanan sebesar 133,28 N dengan waktu pembebanan selama 30 detik. Pemilihan diameter indenter dan pembebanan didapat berdasarkan skala standar uji kekerasan *Rockwell H*. Hasil pengujian kekerasan *ball indentation* dapat dilihat pada Tabel.1 di bawah ini.

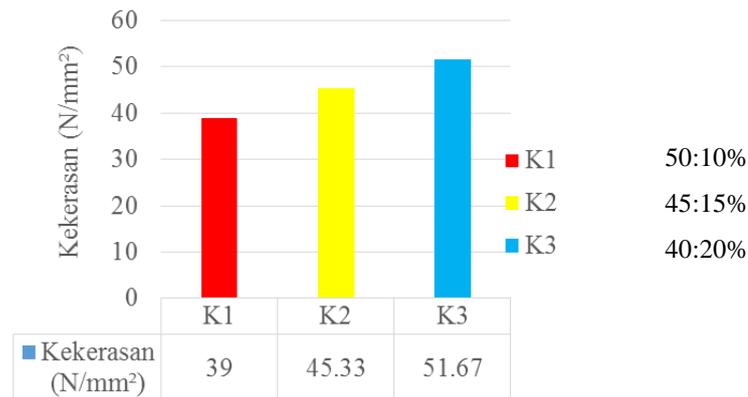
Tabel 1. Data hasil pengujian kekerasan

Kode Sampel	Kekerasan (N/mm ²)	Rata-rata (N/mm ²)
K1	38	39.00
	39	
	40	
K2	42	45.33
	45	
	49	
K3	51	51.67
	51	
	53	

Pada Tabel 1 dijelaskan hasil pengujian kekerasan yang dipengaruhi oleh variasi perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara, yaitu: kode sampel K1 (50:10%), K2 (45:15%), dan K3 (40:20%). Pada pengujian kekerasan dari 3 sampel komposit tersebut dengan masing-masing variasi komposisi serbuk juga memiliki kekerasan yang berbeda. Pada komposit satu (K1) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (50:10%) memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 39 N/mm². Untuk komposit dua (K2) dengan

perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (45:15%) memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 45,33 N/mm². Dan pada komposit tiga (K3) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (40:20%) memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 51,67 N/mm².

Dari tiga pengujian kekerasan metode *ball indentation* ini terlihat, bahwa semakin banyak komposisi serbuk *fly ash* maka nilai kekerasan akan meningkat. Karena pada serbuk *fly ash* terdapat kandungan unsur logam yang dapat mempengaruhi kekerasan komposit. Sehingga mampu memperkuat struktur material pada bahan komposit dan akhirnya dapat meningkatkan nilai kekerasannya. Sementara untuk resin yang digunakan sebagai matriks di sini memiliki nilai kekerasan 84 *Shore D*, dimana standar tersebut jauh lebih rendah nilainya dari standar pengujian kekerasan *ball indentation*.



Gambar 5. Grafik hasil pengujian kekerasan (*Ball Indentation*)

Sifat kekerasan bahan komposit ini saling berhubungan dengan sifat keausan bahan, yaitu berbanding terbalik. Kekerasan merupakan sifat mekanik yang menunjukkan ketahanan terhadap deformasi platis atau permanen. Sifat kekerasan juga dipengaruhi oleh faktor porositas bahan tersebut, karena porositas berkurang membuat tingkat kepadatan bahan dapat meningkatkan kekerasan. Nilai porositas yang rendah menunjukkan bahwa bahan tersebut memiliki rongga-rongga lebih kecil (μ), sehingga memperkuat struktur material pada bahan. Terlihat pada gambar 4.2 grafik pengujian kekerasan.

4.3 Hasil Pengujian Keausan

Metode *pin on disc* (ASTM G99) digunakan untuk pengujian laju keausan ini. Pengujian dilakukan pada permukaan komposit yang telah diratakan, agar nilai laju keausan dari pengujian sesuai dengan luas permukaannya. Kecepatan putaran benda uji ditentukan sebanyak 100 rpm dengan pembebanan 200 gram pada beban gesek dari permukaan kertas abrasif (grit 220). Hasil pengujian laju keausan dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

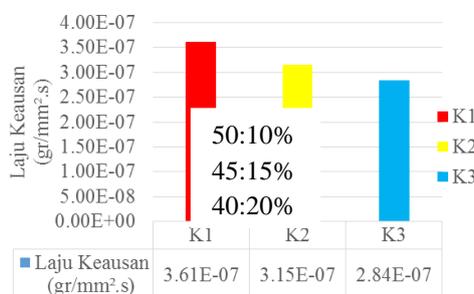
Tabel 2. Data hasil pengujian keausan

Kode Sampel	Luas (mm ²)	Laju Keausan (gr/mm ² .s)	Rata-rata (gr/mm ² .s)
K1	824.062	3.64050E-07	3.61E-07
		3.27645E-07	
		3.92365E-07	
K2	813.919	3.31728E-07	3.15E-07
		3.09203E-07	
		3.05108E-07	
K3	824.062	2.24498E-07	2.84E-07
		3.31690E-07	

		2.95285E-07	
Kampas Rem	161.82	3.38854E-06	3.41E-06
		3.40914E-06	
		3.44004E-06	

Pada Tabel 2 dijelaskan hasil pengujian laju keausan yang dipengaruhi oleh variasi perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara, yaitu : kode sampel K1 (50:10%), K2 (45:15%), dan K3 (40:20%). Pada pengujian keausan dari 3 sampel komposit tersebut dengan masing-masing variasi komposisi serbuk juga memiliki laju keausan yang berbeda. Pada komposit satu (K1) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (50:10%) memiliki rata-rata nilai laju keausan 3,61E-07 gr/mm².s. Untuk komposit dua (K2) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (45:15%) memiliki rata-rata nilai laju keausan 3,15E-07 gr/mm².s. Dan pada komposit tiga (K3) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (40:20%) memiliki rata-rata nilai laju keausan 2,84E-07 gr/mm².s. Dari tiga pengujian tersebut terlihat semakin banyak komposisi serbuk *fly ash* maka nilai laju keausannya menurun. Karena serbuk *fly ash* sebagai penguat bahan berfungsi dengan baik, ketahanan panas serbuk fly ash juga mempengaruhi laju keausan. Selain itu juga kekuatan serbuk dan daya lekat resin sangat mempengaruhi laju keausan pada komposit. Sehingga bahan tersebut memiliki karakteristik ketahanan yang baik terhadap sifat keausan material komposit ditunjukkan dengan berkurangnya nilai laju keausan yang diperoleh

Sifat keausan bahan komposit ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kekerasan dan porositas bahan tersebut. Semakin tinggi nilai kekerasan bahan akan berdampak menurunkan laju keausan, karena kekerasan merupakan sifat mekanik yang menunjukkan kemampuan untuk menahan beban termasuk kemampuan bahan dalam memotong bahan lain. Nilai porositas yang rendah menunjukkan bahwa bahan tersebut memiliki ikatan material yang baik dan terdistribusi merata. Sehingga ikatan material di dalam komposit menjadi kuat dan tidak mudah terabrasi saat terjadi gesekan atau pengujian keausan. Terlihat pada gambar 6 grafik pengujian laju keausan.



Gambar 6. Grafik hasil pengujian laju keausan

4.4 Hasil Pengujian Densitas dan Porositas

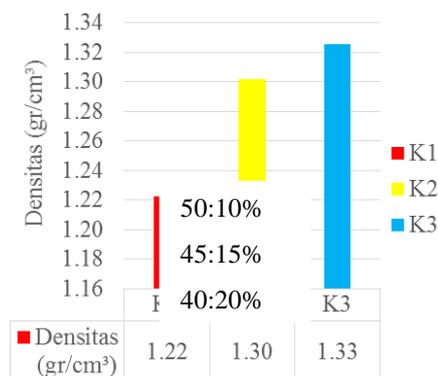
Pada proses metalurgi serbuk yang terdiri dari campuran suatu bahan dengan massa jenis yang berbeda, perlu dilakukan pengujian ini untuk mengetahui berat jenisnya. Bahan komposit yang memiliki komposisi yang berbeda akan mempengaruhi nilai densitasnya. Jika diberikan variasi perbandingan komposisi pada serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara tentunya akan memiliki massa yang bervariasi pula. Berdasarkan nilai densitas antara serbuk bambu dengan serbuk *fly ash* batubara memiliki perbedaan yang cukup jauh. Densitas serbuk bambu yang digunakan disini adalah 0,345 gr/cm³, sedangkan untuk densitas serbuk *fly ash* batubara yang digunakan adalah 1,3 gr/cm³. Sehingga setiap penambahan komposisi *fly ash* batubara pada bahan komposit akan menambah massa dari komposit tersebut, yang pada akhirnya nilai densitas juga meningkat. Hasil pengujian densitas dapat dilihat pada Tabel.3 di bawah ini.

Tabel 3. Data hasil pengujian densitas

Kode Sampel	Massa (gram)	Volume (cm ³)	Densitas (gr/cm ³)	Rata-rata (gr/cm ³)
-------------	--------------	---------------------------	--------------------------------	---------------------------------

K1	9.881	8.10074	1.21977	1.22
	9.87	8.0758	1.22217	
	9.861	8.05089	1.22483	
K2	9.965	7.63648	1.30492	1.30
	9.97	7.66036	1.30151	
	9.975	7.68428	1.2981	
K3	10.15	7.65748	1.3255	1.33
	10.155	7.70497	1.31798	
	10.145	7.61014	1.33309	

Pada Tabel 3 dijelaskan hasil pengujian densitas yang dipengaruhi oleh variasi perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara, yaitu: kode sampel K1 (50:10%), K2 (45:15%), dan K3 (40:20%). Pada pengujian densitas dari 3 sampel komposit tersebut dengan masing-masing variasi komposisi serbuk juga memiliki densitas yang berbeda. Pada komposit satu (K1) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (50:10%) memiliki rata-rata nilai densitas sebesar 1,22 gr/cm³. Untuk komposit dua (K2) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (45:15%) memiliki rata-rata nilai densitas sebesar 1,30 gr/cm³. Dan pada komposit tiga (K3) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (40:20%) memiliki rata-rata nilai densitas sebesar 1,33 gr/cm³.



Gambar 7. Grafik hasil pengujian densitas

Jadi semakin banyak penambahan komposisi serbuk *fly ash* maka semakin besar pula nilai densitasnya, ini disebabkan karena serbuk *fly ash* memiliki nilai densitas lebih tinggi. Tetapi peningkatan nilai densitas dari setiap komposit selisihnya tidak terlalu jauh. Karena di setiap penambahan komposisi serbuk *fly ash* pada tekanan proses kompaksi yang sama, masing-masing memiliki volume berbeda.

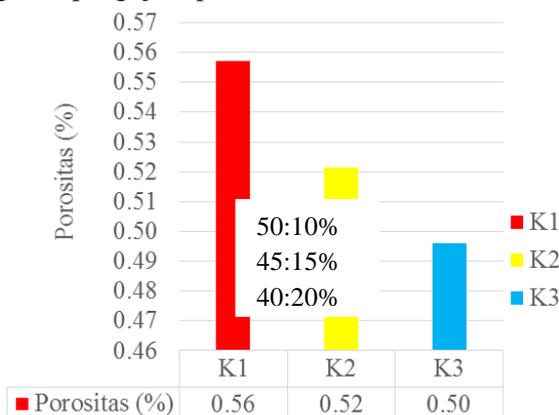
Nilai densitas bahan komposit ini saling berhubungan dengan porositas. Terlihat pada gambar 7 grafik pengujian densitas. Pada dasarnya nilai porositas suatu bahan berbanding terbalik dengan densitas bahan komposit tersebut. Karena porositas adalah rongga yang terdapat pada bahan komposit, dan tentu akan mempengaruhi densitas bahan tersebut. Semakin padat suatu bahan maka densitasnya akan semakin tinggi dan porositas akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Porositas pada bahan komposit dapat menurunkan sifat bahan seperti kekerasan dan laju keausan, yang pada akhirnya mempengaruhi sifat karakteristik bahan. Jadi diharapkan pada komposit yang terdiri dari serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara ini tidak terlalu besar nilai porositasnya. Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Data hasil pengujian porositas

Kode Sampel	Massa Kering (gram)	Massa Basah (gram)	Porositas (%)	Rata-rata (%)
K1	9.881	9.937	0.56674	0.56
	9.87	9.925	0.55724	
	9.861	9.915	0.54761	
K2	9.965	10.016	0.51179	0.52
	9.97	10.022	0.52156	
	9.975	10.028	0.53133	
K3	10.15	10.199	0.48276	0.50
	10.155	10.207	0.51206	
	10.145	10.195	0.49285	

Pada Tabel 4 dijelaskan hasil pengujian porositas yang dipengaruhi oleh variasi perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara, yaitu : kode sampel K1 (50:10%), K2 (45:15%), dan K3 (40:20%). Pada komposit satu (K1) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (50:10%) memiliki rata-rata nilai porositas sebesar 0,56%. Untuk komposit dua (K2) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (45:15%) memiliki rata-rata nilai porositas sebesar 0,52%. Dan pada komposit tiga (K3) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (40:20%) memiliki rata-rata nilai porositas sebesar 0,50%.

Hubungan antara hasil pengujian densitas dengan pengujian porositas pada bahan komposit ini adalah berbanding terbalik. Karena nilai densitas yang tinggi menunjukkan kepadatan bahan material pada komposit menjadi lebih baik. Porositas adalah rongga atau celah pada komposit disebabkan karena adanya udara yang terjebak saat proses kompaksi. Jadi partikel serbuk *fly ash* batubara pada komposit dapat mengisi rongga atau celah-celah di dalam bahan komposit tersebut. Terlihat pada gambar 8 grafik pengujian porositas.



Gambar 8. Grafik hasil pengujian porositas

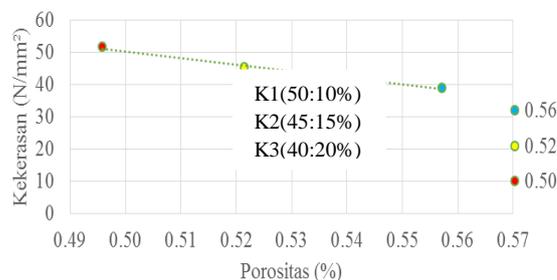
4.5 Hubungan Hasil Pengujian

1. Hubungan Hasil Pengujian Porositas dengan Kekerasan

Pada gambar grafik 9, dijelaskan hubungan hasil pengujian porositas dengan kekerasan. Nilai porositas semakin besar berpengaruh pada penurunan nilai kekerasan komposit. Pada komposit satu (K1) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (50:10%), memiliki rata-rata nilai porositas sebesar 0,56% dengan nilai kekerasan sebesar 39 N/mm². Untuk komposit dua (K2) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (45:15%), memiliki rata-rata nilai porositas sebesar 0,52% dengan nilai kekerasan sebesar 45,33 N/mm². Dan pada komposit tiga (K3) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk

fly ash batubara (40:20%), memiliki rata-rata nilai porositas sebesar 0,49% dengan nilai kekerasan sebesar 51,67 N/mm².

Jadi, berdasarkan *trendline* pada grafik terlihat semakin besar nilai porositas maka nilai kekerasan akan menurun. Sehingga hubungan antara hasil pengujian porositas dengan kekerasan adalah berbanding terbalik.

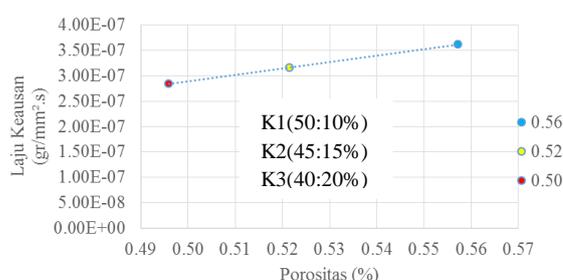


Gambar 9. Grafik hubungan hasil pengujian porositas dengan kekerasan

2. Hubungan Hasil Pengujian Porositas dengan Laju Keausan

Pada gambar grafik 10, dijelaskan hubungan antara hasil pengujian porositas dengan laju keausan. Nilai porositas semakin besar berpengaruh pada peningkatan nilai laju keausan komposit. Pada komposit satu (K1) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (50:10%), memiliki rata-rata nilai porositas sebesar 0,55% dengan nilai laju keausan sebesar 3,61E-07 gr/mm².s. Untuk komposit dua (K2) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (45:15%), memiliki rata-rata nilai porositas sebesar 0,52% dengan nilai laju keausan sebesar 3,15E-07 gr/mm².s. Dan pada komposit tiga (K3) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (40:20%), memiliki rata-rata nilai porositas sebesar 0,49% dengan nilai laju keausan sebesar 2,84E-07 gr/mm².s.

Jadi, berdasarkan *trendline* pada grafik terlihat semakin besar nilai porositas maka nilai laju keausan akan meningkat. Sehingga hubungan antara hasil pengujian porositas dengan laju keausan adalah berbanding lurus.



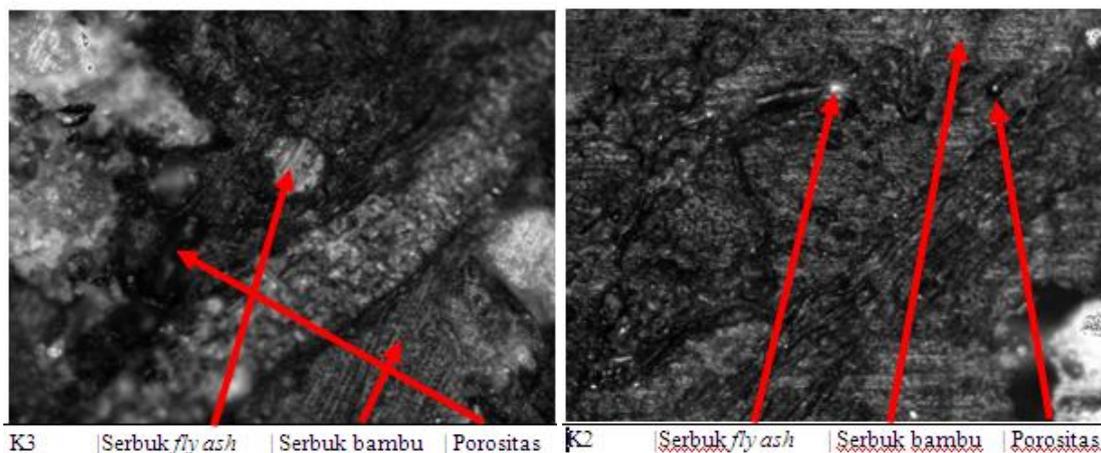
Gambar 10. Grafik hubungan hasil pengujian porositas dengan laju keausan

4.6 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro pada bahan komposit dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 200x. Bahan komposit tersusun dari serbuk bambu, serbuk *fly ash* batubara, dan resin epoxy. Sebelum melakukan proses pengamatan struktur mikro, pada bahan komposit dilakukan proses grinding untuk meratakan dan polishing untuk menghaluskan permukaan. Foto mikro bahan komposit dapat dilihat pada Gambar 11

Dari hasil pengamatan struktur mikro, pada gambar foto mikro *fly ash* batubara terlihat berwarna putih mengkilap, porositas terlihat berwarna hitam pekat, resin dan serbuk bambu terlihat berwarna keabu-abuan. Hasil pengamatan ini sebanding dengan variasi komposisi bahan komposit, karena semakin banyak penambahan *fly ash* maka akan terlihat warna putih mengkilap. Pada pengamatan struktur mikro warna putih mengkilap menunjukkan adanya unsur logam dalam bahan komposit tersebut. Hasil pengamatan ini juga sebanding dengan hasil pengujian densitas dan

porositas, Karena semakin bertambahnya komposisi serbuk *fly ash* batubara rongga porositas pada bahan komposit akan semakin kecil sehingga kerapatan massa akan meningkat.



Gambar 11 Komposit serbuk bambu dan *fly ash* batubara

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu karakteristik komposit serbuk bambu dengan campuran *fly ash* batubara sebagai bahan alternatif kampas rem, maka bisa diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan campuran serbuk *fly ash* batubara pada komposit serbuk bambu akan mempengaruhi sifat karakteristik komposit bahan alternatif kampas rem. Komposisi komposit (K1) dengan perbandingan komposisi serbuk bambu dan serbuk *fly ash* batubara (50:10%), (K2) dengan perbandingan komposisi (45:15%), dan (K3) dengan perbandingan komposisi (40:20%). Sifat tersebut yaitu kekerasan, laju keausan, densitas dan porositas.
 - a. Pada pengujian kekerasan diperoleh nilai tertinggi pada komposit (K3) memiliki nilai kekerasan 51,67 N/mm². Untuk komposit (K2) memiliki nilai kekerasan 45,33 N/mm². Nilai kekerasan terendah pada komposit (K1) memiliki nilai kekerasan 39 N/mm².
 - b. Untuk pengujian keausan diperoleh laju keausan tertinggi pada komposit (K1) memiliki nilai laju keausan 3,61E-07 gr/mm².s. Untuk komposit (K2) memiliki nilai laju keausan 3,15E-07 gr/mm².s. Nilai laju keausan terendah pada komposit (K3) memiliki nilai laju keausan 2,84E-07 gr/mm².s.
 - c. Pada pengujian densitas diperoleh nilai tertinggi pada komposit (K3) memiliki nilai densitas 1,33 gr/cm³. Untuk komposit (K2) memiliki nilai densitas 1,30 gr/cm³. Nilai densitas terendah pada komposit (K1) memiliki nilai densitas 1,22gr/cm³.
 - d. Dan pada pengujian porositas diperoleh nilai tertinggi pada komposit (K1) memiliki nilai porositas 0,56%. Untuk komposit (K2) memiliki nilai porositas 0,52%. Nilai porositas terendah pada komposit (K3) memiliki nilai porositas 0,50%.
2. Hubungan hasil pengujian porositas dengan kekerasan berdasarkan *trendline* grafik yang diperoleh adalah berbanding terbalik. Sedangkan Hubungan hasil pengujian porositas dengan laju keausan berdasarkan *trendline* grafik yang diperoleh adalah berbanding lurus.

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Pproses pembuatan komposit polimer disarankan menggunakan cetakan yang dapat menahan kebocoran resin saat dikompaksi.
2. Pembuatan komposit diharapkan memperhatikan waktu pengeringan serbuk, mixing, kompaksi dan proses sintering, karena hal tersebut berpengaruh terhadap hasil komposit yang dibuat

DAFTAR PUSTAKA

- Gibson, R.F., 1994, *Principles of Composite Material Mechanics*, New York : McGraw-Hill Book Co.
- Hamdi, S., 2013, *Pengaruh Tekanan Kompaksi Terhadap Karakteristik Komposit Berpenguat Serat Bambu dan Mat Fiber Sebagai Bahan Alternatif Kampas Rem*, Cilegon : UNTIRTA.
- Jones, R.M., 1999, *Mechanics of Composite Material*, Virginia : Taylor & Francis.
- Ngafwan., 2011, Penggunaan Serbuk Pasir Besi Non Ferro dan Serat Alam Sebagai Bahan Alternatif Rem Komposit Kereta Api, *Simposium Nasional*, RAPI X, hal. 53-60.
- Pratama., 2011, *Analisa Sifat Mekanik Komposit Bahan Kampas Rem dengan Penguat Fly Ash Batubara*, Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Purboputro, P.I., 2012, Pengembangan Kampas Rem Sepeda Motor dari Komposit Serat Bambu, *Fiber Glass*, Serbuk Aluminium dengan Pengikat Resin Polyester Terhadap Ketahanan Aus dan Karakteristik Pengeremannya. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi*, Periode III, hal. 367-373.
- Suprihanto, A., Setyana, B., 2006, Pengujian Mekanik dan Fisik pada *Metal Matrix Composite (MMC)* Aluminium Fly Ash, *Rotasi*, Vol.8 No.4, hal. 50-57.
- Sutikno., Sukiswo, S.E., dan Dany, S.S., 2012, Sifat Mekanik Bahan Gesek Rem Komposit Diperkuat Serat Bambu, *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, Vol. 8, hal. 83-89.
- Wardana, P.F., Estriyanto, Y., Suharno., 2012, *Pemanfaatan Serbuk Bambu Sebagai Alternatif Material Kampas Rem Non-Asbestos Sepeda Motor*, Surakarta : Universitas Sebelas Maret (UNS).