

KARAKTERISASI PRODUK UBIN BERBAHAN DASAR PLASTIK PP DAN KARET BAN BEKAS DENGAN METODE *PRESSURED SINTERING*

Agung Rohmad¹, Heru Sukanto², Wijang Wisnu Raharjo²

¹Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

PP-rubber composite, pressured sintering, powder technology.

Abstract :

The purpose of this research to characterize the effect of PP (polypropylene) plastic/tire rubber volume fraction variations on the physical and mechanical properties floor of PP plastic-tire rubber composite produced by pressured sintering method. PP type of recycled plastic and tire rubber material in the form of powders used in the study. The composition of PP plastic/tire rubber composite was varied with 50/50, 60/40, 70/30, and 80/20 volume %. Pressing pressure was done using vertical uni-axial single action of 0.2 MPa constantly at 130°C, and for 10 minutes. The properties of specimen were tested included density, falling ball impact and heat conductivity referred to ASTM D1037 and ASTM E1225. The result of research shows that the decreasing of density and heat conductivity are proportionally inverse to the increasing of PP plastic volume fraction. The impact strength increase proportionally to the increasing of PP plastic volume fraction. The impact energy optimal increase to 240.7% occur in PP plastic/tire rubber volume fraction of 70/30 for floor tile.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sampah di Indonesia pada tahun 2008 berdasarkan data statistik Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KNLH) mencapai 38,5 juta ton per tahun. Jawa menghasilkan 21,2 juta ton per tahun, Sumatera 8,7 juta ton per tahun, Bali 1,3 juta ton per tahun, Kalimantan 2,3 juta ton per tahun, Sulawesi dan Papua 5,0 juta ton per tahun. Sampah plastik mempunyai sumbangan 14%, sehingga dalam satu tahun dapat menghasilkan 5,4 juta ton (Adnan, 2008).

Jenis limbah lain selain plastik yang sering kali menimbulkan masalah adalah ban bekas kendaraan bermotor. Di Eropa, setiap tahunnya menghasilkan ban bekas sebanyak 2,2 juta ton yang 34,4% diantaranya tak termanfaatkan (globaltechnoscan.com). Pembuangan limbah ban bekas ke lingkungan dapat menyebabkan polusi lingkungan karena ban tidak terurai secara biologis dalam tanah dan dapat menimbulkan penyakit (Juma dkk, 2006).

Pengolahan ban bekas menjadi serbuk ban bekas adalah salah satu teknik menarik untuk pemanfaatan ban-ban bekas. Salah satu cara dalam mendaur ulang serbuk ban bekas adalah dengan mencampurkan ke dalam bahan termoplastik untuk mendapatkan bahan elastomer termoplastik (ETP) dan pilihan untuk termoplastik adalah *Polypropylene* (Zhang dkk, 2010).

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan bahan yang terbuat dari teknologi serbuk antara lain adalah ukuran partikel serbuk, besarnya tekanan,

temperatur sintering, lamanya waktu penahanan sintering dan volume zat pengikat (German, 1994).

Elastomer mempunyai sifat elastis tetapi tak lunak dengan panas sedangkan termoplastik seperti PP (*Polypropylene*), mempunyai sifat keras, bisa dilunakkan dengan panas dan mencair pada suhu tinggi. Sifat plastik yang mencair pada suhu tinggi tersebut, apabila digabungkan dengan bahan pengisi atau *filler* akan menghasilkan sebuah produk panel yang baru (Barone, 2005). Produk komposit plastik yang akan dihasilkan bergantung pada perbandingan antara jumlah matrik plastik dan jumlah filler yang digunakan. Menurut Soleimani dkk (2012) semakin besar jumlah matrik plastik maka akan meningkatkan kekuatan komposit.

Berdasarkan uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwa pentingnya *recycle* limbah plastik PP (*Polypropylene*) dan karet ban bekas, dengan penerapan teknologi serbuk serta metode pembuatan *pressured sintering* sehingga terbentuk bahan ETP yang dapat diaplikasikan salah satunya pada produk ubin. Untuk kemudian dapat diketahui pengaruh variasi perbandingan fraksi volume PP/karet terhadap karakteristik produk ubin meliputi sifat fisik dan mekanik.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi fraksi volume PP/karet terhadap sifat fisik (densitas, dan konduktifitas panas) serta sifat mekanik (ketahanan impak) ubin komposit PP-karet.

Tinjauan Pustaka

Suyanto (2007) melakukan kajian experimental, pengaruh waktu sintering terhadap sifat fisik dan mekanik komposit plastik (HDPE, PET)-karet ban bekas. Hasil penelitian disimpulkan bahwa dengan variasi penambahan waktu sintering dari 5, 10, 15, dan 20 menit terjadi peningkatan sifat fisik (densitas, penyusutan) dan mekanik (kekuatan impact, kekuatan lentur) dimana peningkatan maksimum terjadi pada penambahan waktu 10 menit.

Jun dan Juwono (2010) melakukan studi perbandingan sifat mekanik polypropylene murni, daur ulang dan komersial. Pengujian termal dengan Differential Scanning Calorimetry (DSC) menunjukkan bahwa PP murni, PP daur ulang dan PP daur ulang komersial tidak menyebabkan perubahan titik leleh yang signifikan (berada pada kisaran 160-163 oC).

Zhang dkk (2010) menyatakan bahwa pembuatan produk dari ban bekas membutuhkan teknik khusus karena ban bekas adalah bahan termoset, yang tidak dapat diolah kembali seperti termoplastik. Salah satu cara dalam mendaur ulang serbuk ban bekas adalah dengan mencampurkan ke dalam bahan termoplastik untuk mendapatkan bahan elastomer termoplastik (ETP) dan pilihan sempurna untuk termoplastik adalah PP.

Deswita dkk (2006) melakukan penelitian pengembangan elastomer termoplastik (ETP) berbasis karet alam untuk penggunaan industri. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan proses blending antara ETP berbasis karet alam dengan polyethylene (PE) dan ETP dengan polypropylene (PP). Variasi komposisi PE dan PP yang digunakan adalah 40%berat, 50%berat, 60%berat dan 70%berat. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa uji mekanik campuran ETP dengan PE dan ETP dengan PP semakin meningkat sebanding dengan kenaikan kandungan PE maupun PP. Campuran ETP dengan PP mempunyai sifat mekanik, fisik dan termal yang lebih baik dibandingkan campuran ETP dengan PE.

Sintering dapat terjadi pada suhu di bawah titik leleh bahan dengan perpindahan atom (difusi) dalam kondisi solid state atau melibatkan pembentukan face cair. Ikatan antar partikel terjadi karena pertumbuhan neck pada titik kontak (German, 1994).

DASAR TEORI

Teknologi Serbuk

Suatu partikel dikategorikan serbuk jika memiliki ukuran dimensi antara 0.01 µm – 1 mm. Teknologi serbuk adalah ilmu tentang pemrosesan serbuk, meliputi pembuatan, karakterisasi, dan pengubahan serbuk menjadi produk yang berguna.

Pencampuran Serbuk (*mixing*)

Menurut German (1994) pencampuran serbuk yang optimal tergantung pada jumlah serbuk di

dalam serbuk dan kecepatan putar tabung. Volume pencampuran serbuk yang optimal adalah antara 20-40% dari volume tabung dengan waktu pencampuran selama satu jam. Kecepatan putar tabung untuk menghasilkan campuran yang optimal dapat dihitung dari persamaan berikut:

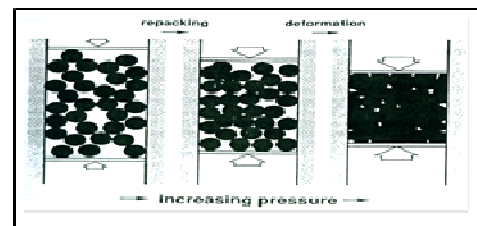
$$N_c = \frac{42,3}{\sqrt{d}} \text{ (rpm)} \quad (1)$$

dimana N_c = kecepatan putar pada kondisi kritis (rpm),
d = Diameter tabung (m)

Untuk mendapatkan kecepatan putar yang optimum adalah sekitar 75% dari kecepatan putar kritis (N_c).

Pengepresan Serbuk (*Compaction*)

Pengepresan adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Untuk meningkatkan densitas serbuk, maka perlu adanya tekanan dari luar (*compaction*).



Gambar 1. Skema perubahan partikel terhadap penambahan tekanan (German,1994)

Sintering

Sintering adalah peningkatan bersama antar partikel pada temperatur tinggi, dimana partikel dipanaskan dalam dapur yang atmosfirnya terkontrol sampai pada temperatur di bawah titik leburnya, tetapi cukup tinggi untuk terciptanya ikatan (*fussion*) dari partikel-partikel serbuk. Temperatur *sintering*, umumnya dipakai 70-85% dari titik leburnya. *Sintering* dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu *solid-state sintering* dan *liquid phase sintering* (German,1994).

PP(Polypropylene)

Polypropylene (PP) merupakan sebuah polimer termoplastik yang banyak dipakai dalam industri plastik. Penggunaan yang luas dikarenakan sifat mampu cetaknya yang baik, dan faktor penyusutan yang lebih kecil dibandingkan dengan *polyethylene* (PE). Perbandingan sifat meliputi, ketelitian dimensi, kekuatan, kekerasan, berat jenis, ketahanan melar, ketahanan panas, ketahanan cuaca, dan ketahanan retak, *polypropylene* (PP) memiliki sifat yang lebih baik dibandingkan dengan *high density polyethylene* (HDPE) dan *low density polyethylene* (LDPE) (Surdia dan Saito, 2000).

Tabel 1. Karakter PP murni (Callister, 1997)

Properties	Value
Density (g/cm ³)	0,90 - 0,91
Modulus of elasticity (GPa)	1,14 - 1,55
Tensile strength (MPa)	31,0 - 41,4
Conductivity (W/mK)	0,12
Elongation (%)	100 - 600
Melting temperature (°C)	175

Karet Ban

Karet ban memiliki kandungan karet alam 44.32%, campuran *butadiene* 15.24%, minyak aromatik 1.85%, unsur karbon hitam 30.47%, *stearic acid* 1.07%, antioksidan 0.83%, dan sulfur 1.42% (Balaguru dkk, 2011).

Tabel 2. Karakter Ban (Kanury, 1982)

Properties	Value
Density (g/cm ³)	1,1
Conductivity (W/mK)	0,35
Specific heat (J/kgK)	1417
Pyrolysis temperature (K)	653

Dasar-dasar Pengujian Spesimen

1) Pengujian Densitas

Densitas merupakan indikator penting kemampuan suatu komposit. Densitas menggambarkan seluruh efek dari properti material. Rumus untuk menghitung densitas (ASTM D-1037).

$$\text{Densitas (g/mm}^3\text{)} = \frac{KF}{Lwt} \tag{2}$$

Dimana :

- F = Berat setimbang setelah di oven (g)
- K = 1, satuan SI (mm-g) atau K= 0,061 satuan (inch-pound)
- L = Panjang spesimen (mm)
- w = Lebar spesimen (mm)
- t = Tebal spesimen (mm)

2) Pengujian Konduktivitas Panas

Pengujian konduktivitas panas bertujuan untuk mengetahui kemampuan komposit untuk menghantarkan panas. Pada pengujian ini mengacu pada standart ASTM E 1225. Laju perpindahan panas pada arah x dinyatakan dengan :

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \tag{3}$$

$$Q_x = -kA \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \tag{4}$$

Dimana :

- Qx = Laju perpindahan panas pada arah x (Watt)
- k = konduktivitas panas (W/m.°K)
- L = Panjang perpindahan panas (m)
- A = Luas perpindahan panas (m²)
- T₁ = Temperatur awal saat perpindahan panas (°K)

T₂ = Temperatur setelah perpindahan panas (°K)

Sedangkan nilai hambatan/tahanan panas yang melewati plat dengan ketebalan L dan luas A, dinyatakan dengan :

$$R_{slab} = \frac{L}{Ak} \tag{5}$$

3) Pengujian Impak

Pengujian impak yang digunakan untuk menguji kekuatan produk adalah *Falling Ball Impact Test*. Pengujian ini menggunakan bola baja dengan diameter 50 mm dan berat 536 g, yang dijatuhkan dari ketinggian dan mengenai produk yang di uji. Ketinggian bola baja saat dijatuhkan adalah 25 mm kemudian secara bertahap ditingkatkan ketinggian menjadi 50 mm dan seterusnya hingga terjadi kerusakan pada permukaan spesimen. Pengujian ini mengacu pada standart ASTM D-1037.

METODOLOGI PENELITIAN

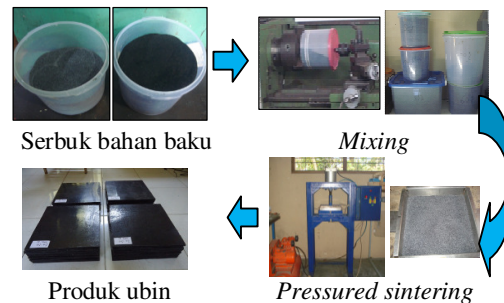
Bahan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan bahan dasar plastik bekas jenis PP yang diperoleh dari sisa-sisa pemotongan plastik PP. Sedangkan bahan karet yang dipakai adalah karet dari ban bekas bagian luar kendaraan bermotor.

Pembuatan Produk

Pembuatan produk dilakukan dengan menuang material serbuk PP dan serbuk karet yang telah di *mixing* dalam cetakan kemudian dilakukan *pressured sintering*.

Tahapan *pressured sintering* dimaksudkan untuk membentuk ikatan antar partikel serbuk dengan menggunakan energi thermal pada suhu di bawah titik leleh material. *Pressured sintering* dilakukan di dalam cetakan dengan lingkungan udara bebas. *Sintering* dilakukan pada suhu 130 oC sedangkan waktu *sintering* selama 10 menit dengan tekanan 0,2 MPa. Proses pengepresan dengan menggunakan mesin *single action compaction*.



Gambar 2. Pembuatan produk

Tahap Pengujian

1) Pengujian Densitas

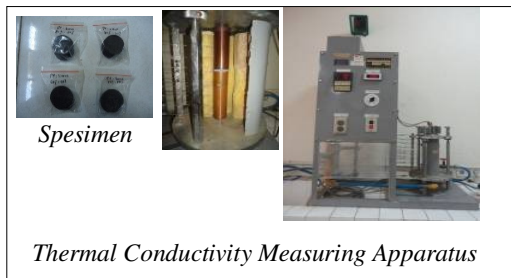
Pengujian densitas dilakukan sesuai standar ASTM D 1037. Dimensi spesimen yaitu panjang 76 mm, lebar 38 mm dan tebal 7 mm.



Gambar 3. Pengujian densitas

2) Pengujian Konduktivitas Panas

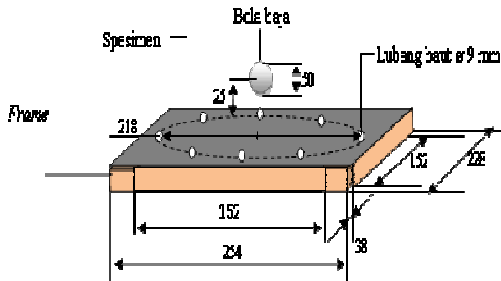
Pengujian konduktivitas panas memiliki ukuran spesimen yaitu diameter 40 mm, dan tebal 4 mm dan mengacu pada ASTM E 1225.



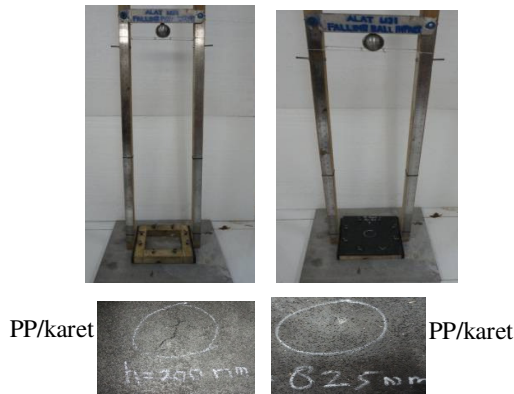
Gambar 4. Pengujian konduktivitas panas

3) Pengujian Falling Ball Impact

Pengujian *Falling Ball Impact Test* memiliki ukuran spesimen seperti gambar 7 dan mengacu pada ASTM D1037.

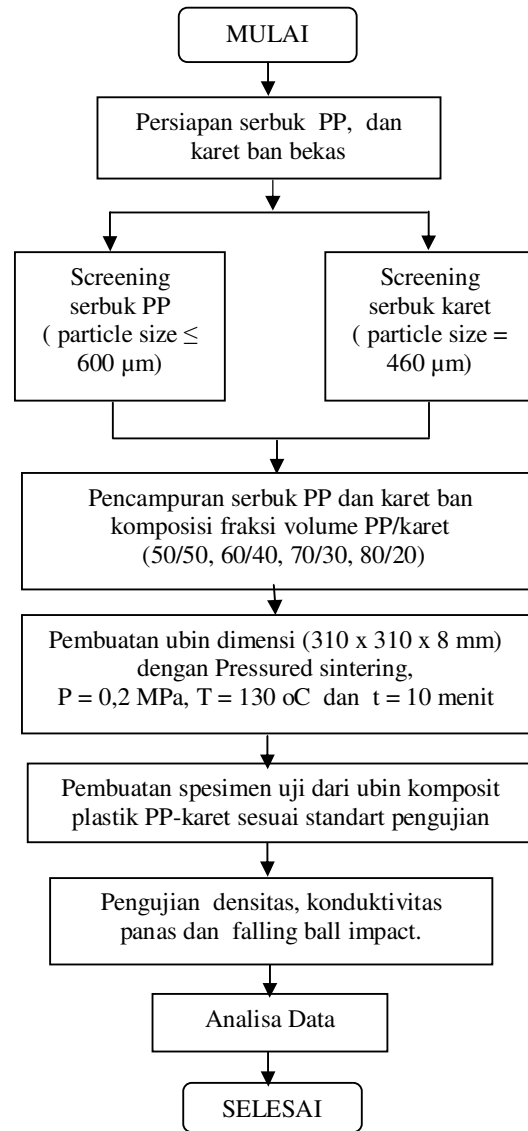


Gambar 5. Dimensi pengujian ball impact



Gambar 6. Pengujian falling ball impact

Diagram Alir Penelitian

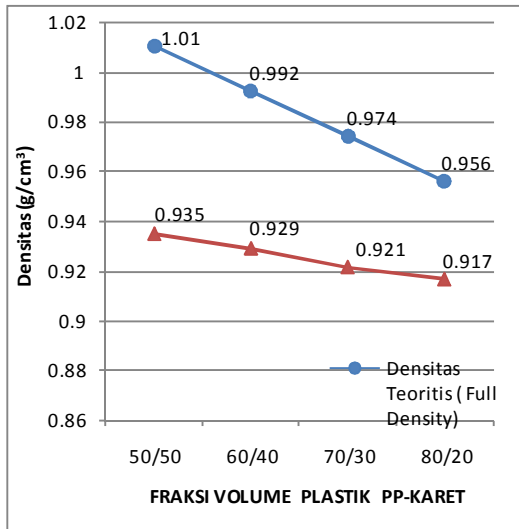


Gambar 7. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Fraksi Volume Serbuk Terhadap Densitas Ubin Komposit Plastik PP- Karet

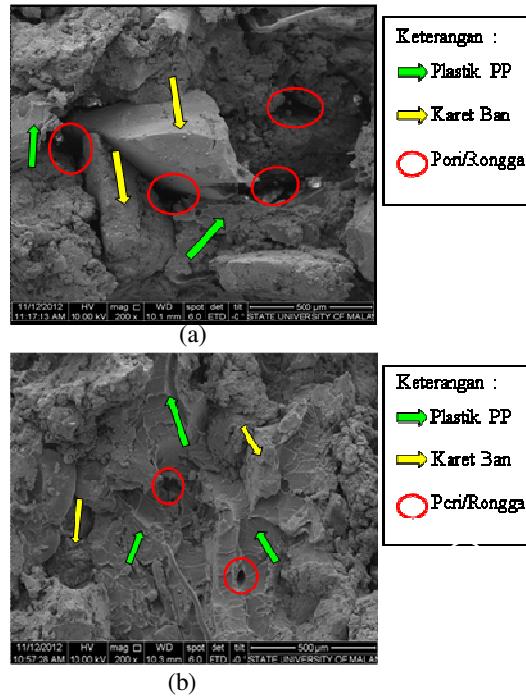
Densitas adalah massa suatu zat yang terkandung dalam suatu unit volume atau pengukuran massa tiap satuan volume benda. Secara teoritis densitas merupakan perbandingan massa dan volume, sehingga spesimen dengan massa yang sama tetapi volume lebih kecil akan menghasilkan densitas yang lebih besar. Berdasarkan pengujian densitas komposit diperoleh hasil seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh fraksi volume terhadap densitas

Gambar 8 terlihat bahwa densitas aktual komposit menurun berbanding terbalik dengan bertambahnya fraksi volume plastik PP. Nilai densitas terbesar terjadi pada fraksi volume plastik PP/karet, 50/50 yaitu 0,935 gr/cm³ kemudian mengalami penurunan secara berurutan pada fraksi volume plastik PP/karet komposisi 60/40, 70/30, 80/20 sebesar 0,929 gr/cm³, 0,921 gr/cm³ dan 0,917 gr/cm³. Penurunan densitas komposit untuk tiap fraksi volume memiliki nilai yang relatif kecil, dimana penurunan terbesar terjadi pada komposisi 60/40 hingga komposisi 70/30 sebesar 0,810 %. Sedangkan komposisi 50/50 hingga 60/70 dan komposisi 70/30 hingga 80/20, secara berturut-turut yaitu 0,619 % dan 0,516 %. Penurunan densitas terjadi karena secara teoritis plastik PP memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan dengan densitas teoritis karet ban bekas. Maka pada fraksi volume plastik PP/karet komposisi 80/20 memiliki densitas terkecil, sebab pada fraksi tersebut jumlah serbuk plastik PP lebih banyak dibandingkan dengan fraksi volume yang lainnya. Densitas teoritis terukur (*full density*) plastik PP adalah 0,92 gr/cm³. Sedangkan densitas teoritis terukur (*full density*) karet ban bekas adalah 1,1 gr/cm³.

Densitas teoritis dari gambar 8 juga terlihat terjadi kecenderungan penurunan densitas dengan meningkatnya fraksi volume plastik PP. Gambar 8 menunjukkan densitas aktual dari komposit berada di bawah densitas teoritisnya. Fenomena ini mengidentifikasikan bahwa adanya pori pada komposit, sehingga menyebabkan densitas aktual lebih rendah dari densitas teoritisnya. Pori/rongga pada material dapat dilihat dari gambar 9 hasil SEM (*Scanning Electron Microscopy*) penampang patahan komposit.



Gambar 9. SEM komposit plastik PP-Karet
 (a) fraksi volume PP/karet 50/50
 (b) fraksi volume PP/karet 80/20

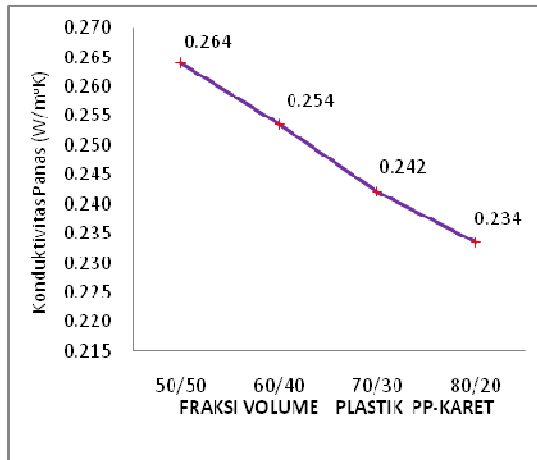
Pada gambar 8 perubahan densitas terhadap variasi fraksi volume komposit PP/karet juga terlihat selisih antara densitas aktual komposit hasil *pressured sintering* dengan densitas teoritisnya yang semakin kecil. Fenomena ini menunjukkan bahwa pori/rongga yang terdapat pada komposit semakin kecil dengan penambahan fraksi volume plastik PP. Fenomena ini dapat dilihat pada gambar 9 (a) dan 9 (b) hasil foto SEM.

Pengaruh Fraksi Volume Serbuk Terhadap Konduktivitas Panas Ubin Komposit Plastik PP-Karet

Hubungan antara konduktivitas panas komposit dengan variasi fraksi volume plastik PP/karet dapat dilihat pada gambar 10. Nilai konduktivitas panas terbesar terdapat pada variasi fraksi volume karet/PP komposisi 50/50 sebesar 0,264 W/m²K dan konduktivitas terkecil pada variasi fraksi volume plastik PP/karet komposisi 80/20 sebesar 0,234 W/m²K.

Pada gambar 10 menunjukkan bahwa nilai konduktivitas panas komposit menurun berbanding lurus dengan berkurangnya fraksi volume karet. Semakin kecil fraksi volume karet maka kemampuan untuk mengalirkan panas akan semakin berkurang, hal ini disebabkan karena nilai konduktivitas panas karet ban secara teoritis lebih besar dibandingkan plastik PP. Nilai konduktivitas panas ban karet adalah 0,35W/m²K(Kanury, 1982) dan konduktivitas

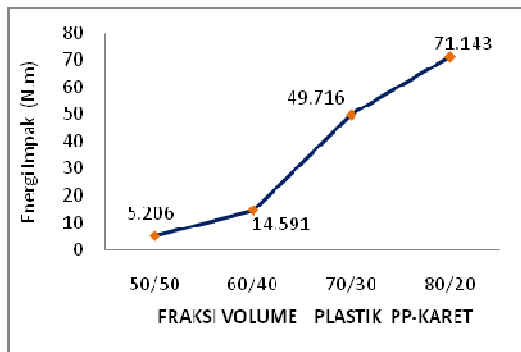
panas plastik PP adalah 0,12 W/m^oK (Callister, 1997).



Gambar 10. Pengaruh fraksi volume terhadap konduktivitas panas.

Pengaruh Fraksi Volume Serbuk Terhadap Besarnya Energi Impak Ubin Komposit Plastik PP- Karet

Uji *falling ball impact* adalah mengukur besarnya energi impact untuk mengawali retakan dan kerusakan material. Semakin besar energi impact untuk membuat material rusak maka semakin besar ketangguhan dari material tersebut.



Gambar 11. Pengaruh fraksi volume terhadap energi impact

Pengaruh variasi fraksi volume serbuk plastik PP/karet terhadap energi impact ditunjukkan pada gambar 11. Besarnya energi impact semakin meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya fraksi volume plastik PP. Peningkatan terbesar terjadi antara variasi fraksi volume plastik PP/karet komposisi 60/40 hingga 70/30, dimana pada range ini peningkatan energi impact sangat signifikan yaitu sebesar 240,7%. Sedangkan pada variasi fraksi volume plastik PP/karet komposisi 50/50 hingga 60/40 dan variasi fraksi volume plastik PP/karet komposisi 70/30 hingga 80/20 secara berturut-turut yaitu 180,3% dan 43,1%. Peningkatan besarnya energi impact pada komposit disebabkan oleh

peningkatan jumlah ikatan serbuk plastik dan penurunan pori pada komposit plastik PP dan karet.

Proses *pressured sintering* yang diberikan pada spesimen akan meningkatkan jumlah ikatan antar serbuk plastik seperti terlihat pada gambar 9 dimana proses sintering menyebabkan terjadinya mekanisme *bulk transport* yang ditandai dengan peningkatan besarnya *neck* pada partikel serbuk plastik. Peningkatan besarnya *neck* antar partikel serbuk plastik akan menyebabkan peningkatan kerapatan partikel. Besar kecilnya jumlah *neck* yang terjadi ditentukan oleh besarnya komposisi plastik karena plastik PP berperan sebagai matrik atau pengikat komposit.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian karakterisasi ubin komposit berbahan dasar serbuk plastik PP dan karet ban, dari komposisi 50/50 hingga 80/20 maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Ubin komposit plastik PP-karet memiliki densitas 0,935-0,917 g/cm³, konduktivitas panas ubin 0,264-0,234 W/m^oK dan besarnya energi impact ubin 5,206-71,143 N.m.
- Peningkatan signifikan sifat mekanik ubin terjadi pada fraksi volume plastik PP/karet komposisi 70/30 yaitu sebesar 240,7% dari variasi sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Annan, M.G., 2008, *Statistik Persampahan Indonesia*, Deputi Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan Kementerian Negara Lingkungan Hidup, Jakarta.

Balaguru, P., Krishna, M.N., dan Sathiyagnanam, A.P., 2011, *Neural Network Based Analysis of Thermal Properties Rubber Composite Material -Pneumatic Tire*, Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol-III, WCE.

Callister, W.D., 1997, *Materials Science and Engineering*, John Wiley & Sons, New York.

Deswita, Sudirman, Karo, A.K., Sugiantoro, S., dan Handayani, A., 2006, *Pengembangan Elastomer Termoplastik Berbasis Karet Alam dengan Polietilen dan Polipropilen untuk Bahan Industri*, Jurnal Sains Materi Indonesia, Vol. 8-No. 1, pp.52-57.

German, R.M., 1994, *Powder Metallurgy Science*, The Pennsylvania State University, New Jersey.

Jun, H.J.B., dan Juwono, A.K., 2010, *Studi Perbandingan Sifat Mekanik Polypropylene Murni dan Daur Ulang*, Makara Sains, Vol.14-No.1, pp.95-100.

Juma, M., Koren, Z.O., Markos, J., Annus, J., Jelemensky, L., 2006, *Pyrolysis and Combaustion of Scrap Tire*, Petroleum & Coal, Vol. 48(1), pp.15-26.

Kanury, A.M, and Holve, D., 1982, *Transient conduction with pyrolysis (Approximate*

- solutions for charring of wood slabs*), Journal Heat Transfer, Vol.104, pp.338.
- Malau, V., dan Widyapraga, A., 2008, *Pengaruh Perlakuan Panas Quench dan Temper Terhadap Laju Keausan, Ketangguhan Impak, Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja Xw 42 Untuk Keperluan Cetakan Keramik*, Media Teknik, No. 2, pp.186-192.
- Mavridou, S., and Oikonomou, N., 2011, *Report on Characteristics of Tire Rubber*, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.
- Mujiarto, I., 2005, *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*, Traksi. Vol. 3-No. 2, pp. 65-73.
- Sahwan, F.L., Martono, D.H., Wahyono, S., dan Wisoyodharmo, L.A., 2005, *Sistem Pengolahan Limbah Plastik di Indonesia*, Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol. 6 (1), pp. 311-318.
- Soleimani, H., Kord, B., Pourpasha, M.M., dan Pourabbasi, S., 2012, *The Relationship Between Plastic Virginity and Engineering Properties of Wood Plastic Composites*, World Applied Sciences Journal, Vol 19 (3), pp. 395-398.
- Surdia, T., dan Saito, S., 2000, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suyanto, 2007, *Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Komposit Plastik (HDPE,PET)- Karet Ban Bekas*, Skripsi, UNS, Surakarta.
- Zhang, S.L., Zhang, Z.X., Pal, K., Xin, Z.X., Suh, J., Kim, J.K., 2010, *Prediction of Mechanical Properties of Polypropylene/Waste Ground Rubber Tire Powder Treated by Bitumen Composites Via Uniform Design and Artificial Neural Networks*, Materials and Design journal, Vol 31, pp. 3624-3629.