



## Analisa Antarmuka antara Bahan Penguat dan Matriks pada Komposit Polipropilen Berpenguat Serbuk Tempurung Kelapa

Luki Triyahya, I Made Kastiawan

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya  
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia  
email: [luki.triyahya@gmail.com](mailto:luki.triyahya@gmail.com)

### ABSTRAK

Pada penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan tempurung kelapa sebagai alternatif penguat pada komposit, penguat tempurung kelapa dalam bentuk serbuk sebagai penguat komposit polipropilen yang dikondisikan dicuci dan dikeringkan. Komposit pada penelitian ini dibuat dengan variasi pemuatan volume 7%, 10%, 13% dan ukuran partikel 100-150 mesh, 150-200 mesh, 200-250 mesh, 250-300 mesh yang dibuat dengan metode *direct squeeze casting*, dan matrik plastik polipropilen dipanaskan pada suhu 170 °C dengan parameter pengadukan matrik dan penguat 30 rpm selama 20 menit dan kemudian dituangkan pada cetakan pada suhu ruang lalu di tekan dengan tekanan sebesar sebesar 25 kgf/cm<sup>2</sup> yang ditahan selama 5 menit. Komposit yang sudah melalui proses pengkondisian kemudian dipotong menjadi spesimen uji dan dilakukan pengujian mekanis uji tarik-uji impak, pengujian sifat kimia dengan FTIR dan pengujian sifat fisis dengan mikroskop elektron.

Dari hasil pengujian, sifat mekanis didapat kekuatan tarik antara 14,464 hingga 19,557 MPa, nilai kekuatan tarik tertinggi pada variasi pemuatan 7% dan ukuran partikel 250-300 mesh sedangkan kekuatan tarik terendah pada variasi pemuatan 13% dan ukuran partikel 100-150 mesh. Pengujian impak didapatkan harga impak sebesar 0,018 hingga 0,054 J/mm<sup>2</sup>. Harga impak pada variasi pemuatan 13% dan ukuran partikel 100-150 mesh, sedangkan harga impak terendah didapatkan dari spesimen dengan variasi pemuatan 7% dan ukuran partikel 250-300 mesh. Hasil analisa sifat mekanis kekuatan tarik dipengaruhi oleh besaran pemuatan volume penguat mempengaruhi kekuatan tarik dari komposit, hal ini disebabkan karena pada pemuatan pemuatan berat yang rendah dapat mengurangi terjadinya rongga sehingga kekuatan tariknya naik. Sedangkan harga impak dipengaruhi oleh besarnya ukuran partikel, semakin besar ukuran partikelnya maka kekuatan impaknya cenderung semakin besar, hal ini disebabkan karena pada ukuran partikel yang lebih besar partikel penguat tidak mudah terdeposisi sehingga menaikkan harga impak. Berdasarkan hasil pengujian FTIR tidak adanya ikatan kimia pada komposit sehingga ikatan yang terjadi antara matrik dan penguat hanya ikatan mekanis. Dari hasil mikroskop electron di dapatkan morfologi permukaan serbuk tempurung kelapa memiliki permukaan yang kasar sehingga memberikan sifat adesif yang baik. Hasil analisa sifat fisik, pada semua sampel komposit yang dianalisa memiliki distribusi partikel yang baik namun ikatan fisik antarmuka matrik-penguat yang kurang baik.

**Kata kunci:** *komposit polipropilen, serbuk tempurung kelapa, sifat mekanis, sifat fisis, pemuatan pemuatan berat.*

### PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini banyak peneliti yang melakukan penelitian tentang pemanfaatan

sabut kelapa dan juga tempurung kelapa sebagai bahan pengisi bahan penguat dalam polimer yang berarti dapat menggantikan

serat sintetis dan pengisi. Hasil mereka pada sifat mekanik komposit adalah sangat mengesankan (Sindhu et al., 2007, Haque et al., 2009). Keuntungan menggunakan tempurung kelapa adalah biaya rendah, kepadatan rendah, dapat diterima sifat mekanik, sumber daya terbarukan dan biodegradable (Islam et al., 2010). Dan juga tempurung kelapa memiliki kandungan lignin yang tinggi sehingga menghasilkan mekanik yang baik sifat seperti kekakuan, sifat termal dan kepadatan rendah ketika digunakan dalam komposit termoplastik (Javadi et al., 2010).

Polypropylene (PP) adalah termoplastik yang paling banyak digunakan saat ini karena biaya yang rendah dan sifat pemrosesan yang baik. PP adalah polimer linier dan diklasifikasikan sebagai polyolefin, tersedia dalam dua tipe dasar sebagai homopolimer atau kopolimer bahan. PP memiliki kepadatan rendah, dan serta memiliki sifat mekanis yang baik seperti kekakuan, ketangguhan, serta kekuatan tarik yang baik

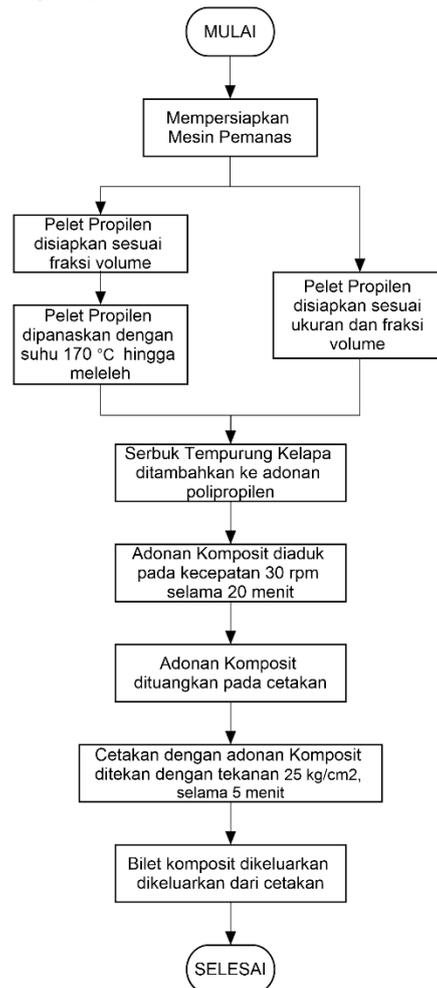
Pada penelitian ini dipelajari kondisi antarmuka komposit polipropilen-serbuk tempurung kelapa yang dikaitkan dengan sifat mekanisnya yaitu peningkatan nilai impak, nilai modulus dan kuat tariknya. Untuk mendapatkan serbuk tempurung kelapa akan dilakukan penggilingan terhadap tempurung kelapa. Kemudian serbuk tersebut dikeringkan untuk mengurangi kadar air, dari pengeringan ini diharapkan dapat memperkuat adesi antara partikel tempurung kelapa dan matriks propilen.

## PROSEDUR EKSPERIMEN

### Proses Pembuatan Komposit

Komposit pada penelitian ini dibuat dengan metode *direct squeeze casting*. Serbuk tempurung kelapa didapatkan dengan cara disaring yang sekaligus dicuci dengan air dan kemudian dikeringkan. Matrik plastik polipropilen dipanaskan hingga meleleh pada suhu 170 °C kemudian matrik dan penguat diaduk dengan parameter 30 rpm selama 20 menit dan kemudian dituangkan pada cetakan pada suhu ruang lalu di tekan dengan tekanan

sebesar sebesar 25 kgf/cm<sup>2</sup> yang ditahan selama 5 menit.



Gambar 1: Diagram Alir Pembuatan Komposit

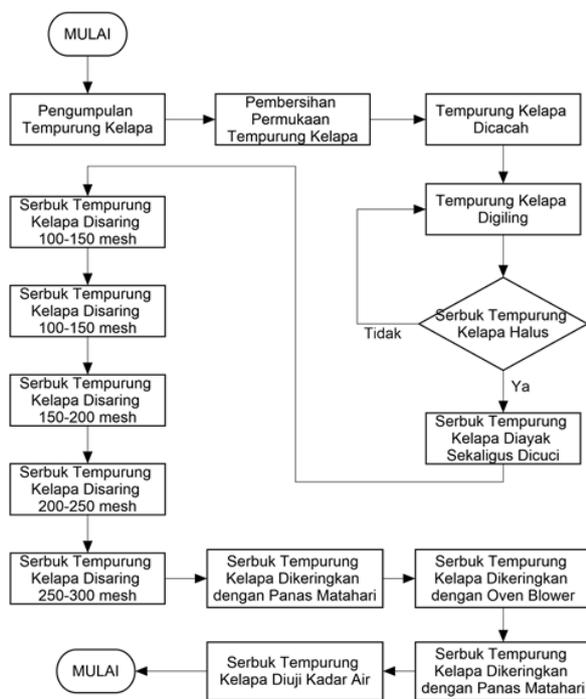
### Karakterisasi

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini antara lain karakterisasi sifat mekanik, sifat kimia, dan sifat fisik. Karakterisasi sifat mekanis dilakukan dengan menggunakan uji tarik dan uji impak. Uji FTIR dilakukan untuk mengetahui karakterisasi gugus fungsi kimia dari komposit. Sedangkan uji SEM dilakukan untuk mengkarakterisasi sifat fisik dari komposit untuk mengetahui bentuk antarmuka antara matrik dan penguat.

### Preparasi Partikel Penguat

Tempurung kelapa didapatkan dari limbah jasa pamarutan kelapa yang diperoleh dari pasar tradisional. Tempurung kelapa yang sudah dibersihkan permukaannya kemudian dicacah agar memudahkan untuk digiling.

Cacahan tempurung digiling pada mesin *crusher* dan proses diulang hingga delapan kali untuk mendapatkan serbuk tempurung kelapa yang halus. Proses selanjutnya adalah diproses ayak sekaligus dicuci dengan air secara bertahap. Serbuk tempurung kelapa yang sudah agak halus di saring dengan ayakan untuk mendapatkan ukuran partikel 100-150 mesh; 150-200 mesh; 200-250 mesh; 250-300 mesh, untuk digunakan sebagai bahan penguat pada komposit. Serbuk tempurung kelapa yang sudah di dapatkan ukuran mesh nya kemudian dikeringkan. Gambar 2 menunjukkan ilustrasi diagram alir preparasi serbuk tempurung kelapa sebagai penguat.



Gambar 2: Diagram Alir Preparasi Penguat

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Tarik

Kekuatan tarik digunakan untuk menggambarkan kemampuan komposit untuk menahan gaya tarik (beban yang searah dengan sumbu elemen) sampai tercapai titik di mana material putus secara bersamaan pada laju ekstensi atau beban yang konstan. Dengan kata lain, keadaan ini adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum berubah bentuk atau patah secara

permanen. Hasil pengujian kuat tarik berkisar antara 14,464 MPa sampai 19,557 MPa. Kuat tarik rata-rata yang terkecil diperoleh dari perlakuan ukuran partikel penguat 100-150 mesh pada pemuatan volume 10%. Kuat tarik rata-rata yang terbesar diperoleh dari perlakuan ukuran partikel penguat 250-300 mesh pada pemuatan volume 7%. Hasil rata-rata pengujian tarik dalam satuan MPa dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1: Tabel Rata-rata Tegangan Maksimum Komposit Polipropilen dan Serbuk Tempurung Kelapa (satuan dalam MPa)

Pemuatan Berat Penguat	Ukuran Partikel Penguat			
	100-150 Mesh	150-200 Mesh	200-250 Mesh	250-300 Mesh
7%	17.503	17.939	17.535	19.577
10%	14.464	16.468	17.941	17.372
13%	16.195	16.082	16.525	17.528

### Hasil Uji Impak

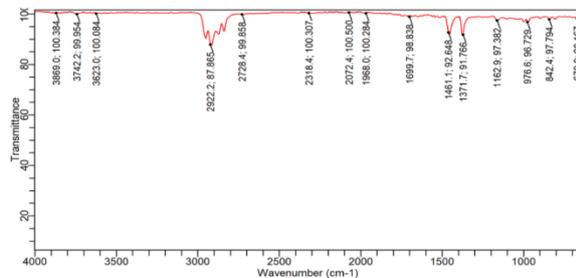
Uji impak digunakan untuk karakterisasi sifat mekanik komposit. Metode pengujian ini dilakukan dengan menerapkan beban mendadak pada spesimen dengan tujuan untuk mengetahui karakter komposit pada laju regangan tinggi, hasilnya disajikan dalam bentuk penyerapan energi spesimen. Pengujian impak komposit dilakukan dengan menggunakan alat uji impak metode charphy. Dari uji impak, dicatat nilai energi yang terserap lalu dibagi dengan luas penampang awal spesimen. Uji impak pada penelitian ini dilakukan pada semua variasi, hasil rata-rata harga impak dari masing-masing variasi komposit dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2: Tabel Rata-rata Harga Impak Komposit PP dan STK (satuan dalam Joule/mm<sup>2</sup>)

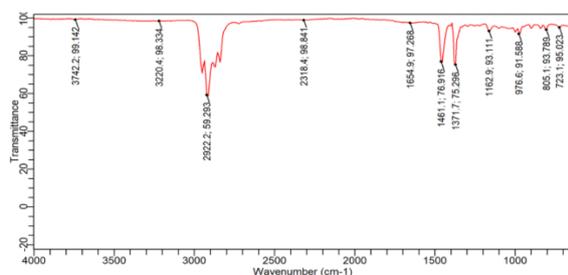
Pemuatan Berat Penguat	Ukuran Partikel Penguat			
	100-150 Mesh	150-200 Mesh	200-250 Mesh	250-300 Mesh
7%	0.049	0.033	0.026	0.018
10%	0.045	0.041	0.025	0.020
13%	0.054	0.042	0.030	0.024

### Hasil Uji FTIR

Karakteristik kimia dalam hal gugus fungsi dari komposit polipropilen dan STK di analisa menggunakan instrumen Agilent Cary 630 Fourier Transform Infra Red (FTIR) spectrometer. Sampel komposit yang di analisa adalah sampel dengan karakteristik mekanis terbaik dan terburuk, hal ini dilakukan karena kedua sampel ini memiliki perbedaan data yang ekstrim dan perlu di analisa bagaimana karakteristik kimianya. Sampel yang dianalisa FTIR adalah sampel komposit dengan variasi pemuatan berat Serbuk Tempurung Kelapa (STK) 13% ukuran partikel 250-300 mesh dan sampel komposit dengan variasi pemuatan berat STK 7% ukuran partikel 100-150 mesh. Hasil uji kedua sampel tersebut dapat dilihat pada gambar IV-5 dan gambar. Spesimen komposit dipaparkan dengan gelombang radiasi inframerah, di mana kisaran wilayah gelombang inframerah pada rentang 4000 hingga 650 cm<sup>-1</sup>. Pemindaian tersebut diatur pada resolusi 16 cm<sup>-1</sup> dengan 16 pemindaian untuk setiap spesimen. Spesimen menyerap radiasi dari panjang gelombang dan menyebabkan perubahan momen dipole pada molekul sampel.



Gambar 3: Hasil FTIR Komposit Volume STK 13% Ukuran 250-300 mesh.



Gambar 4: Hasil FTIR Komposit Volume STK 7% Ukuran 100-150 mesh.

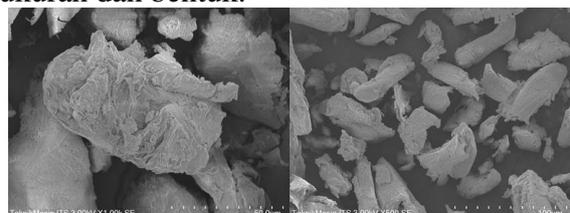
tidak ada ikatan kimia antara polipropilen dan STK. Dari membandingkan puncak-puncak spektrum hasil FTIR antara kedua spesimen yang memiliki bentuk lembah dan spektrum yang hampir sama maka dapat diyakini bahwa kedua spesimen adalah identik. Analisa gugus fungsi kimia ini juga menunjukkan bahwa perbedaan variasi pemuatan volume dan ukuran partikel pada pembuatan komposit tidak mempengaruhi gugus fungsi dari matriks dan penguat.

### Hasil Uji SEM

Instrumen Scanning Electron Microscope (SEM) atau mikroskop elektron Hitachi Flexsem 1000 digunakan untuk mempelajari struktur mikro komposit dan antarmuka penguat dengan matriks. Sama halnya dengan analisa FTIR dua spesimen representatif dipilih untuk di SEM, yaitu sampel komposit dengan variasi pemuatan berat STK 13% ukuran partikel 250-300 mesh dan sampel komposit dengan variasi pemuatan berat STK 7% ukuran partikel 100-150 mesh. Kedua sampel tersebut mewakili sampel dengan kekuatan mekanis yang terburuk dan terbaik. Area yang di analisa adalah area patahan setelah pengujian tarik dan setiap sampel dilapisi dengan lapisan emas di atas permukaan yang diobservasi untuk menghindari fenomena charging saat dilakukan analisa SEM.

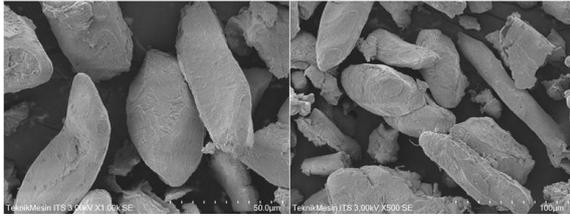
### Morfologi Serbuk Tempurung Kelapa

Ukuran dan bentuk penguat adalah salah satu faktor terpenting untuk bahan penguat komposit. Struktur mikro dan luasan permukaan partikel penguat memiliki pengaruh signifikan pada sifat mekanik komposit berbanding terbalik dengan partikel ukuran dan bentuk.



Gambar 5: Foto Mikro Serbuk Tempurung Kelapa Ukuran 100-150 Mesh.

Dari hasil FTIR yang ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4 dapat disimpulkan

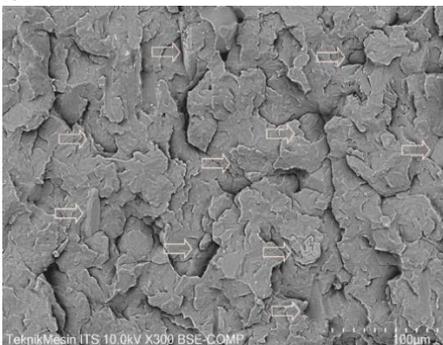


Gambar 6: Foto Mikro Serbuk Tempurung Kelapa Ukuran 250-300 Mesh.

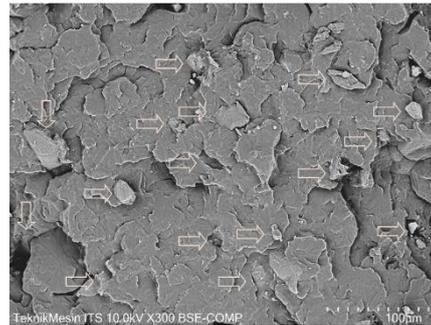
Foto mikro partikel STK untuk ukuran 100-150 mesh dan 250-300 mesh masing-masing dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6. Dari kedua foto tersebut terlihat bahwa ukuran dan bentuk partikel STK bervariasi, namun dapat terlihat mayoritas bentuknya adalah prisma, bulat, dan menyerupai serat. Dengan membandingkan kedua gambar tersebut semakin besar ukuran partikel STK morfologi permukaannya semakin kasar, permukaan kasar ini berpengaruh signifikan pada sifat adhesi partikel STK terhadap matrik polipropilen. Semakin kasar permukaan semakin baik sifat adesif penguat terhadap matrik, dimana partikel penguat dapat mempertahankan posisinya pada matrik saat di diberikan pembebanan yang pada akhirnya akan memperkuat sifat mekanis dari komposit. Pada ukuran partikel 250-300 mesh terlihat juga permukaan partikelnya agak kasar sehingga sifat adesifnya masih cukup baik.

#### Morfologi Patahan

Foto mikro kedua sampel tersebut dapat dilihat pada gambar IV-7 dan gambar IV-8. Gambar IV-7 dan IV-8 menyajikan foto mikro SEM permukaan patahan tarik dari komposit polipropilen dan STK dengan perbedaan variasi pemuatan berat dan ukuran partikel



Gambar 7: Foto Mikro Komposit Volume STK 13% Ukuran 250-300 mesh. (Panah menunjukkan posisi penguat)



Gambar 8: Foto Mikro Komposit Volume STK 7% Ukuran 100-150 mesh. (Panah menunjukkan posisi penguat)

Dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8 bahwa perbedaan penambahan volume dan ukuran partikel ke komposit tidak mengubah mekanisme fraktur dasar dari matriks karena semua sampel menunjukkan fraktur yang serupa seperti kekasaran permukaan dan adanya tanda kerucut. Patahan yang ditunjukkan kedua gambar tersebut adalah patahan getas.

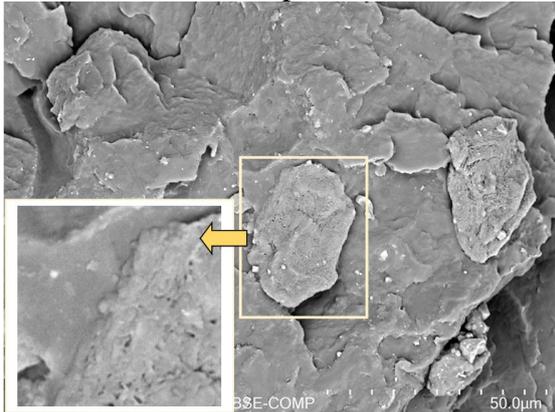
#### Distribusi Partikel

Panah pada gambar 7 dan 8 menunjukkan lokasi partikel STK, dari gambar terlihat perbedaan kontras antara matriks dan penguat, sehingga distribusi partikel penguat dapat diamati. Dapat dijumpai pada bagian tertentu distribusi partikel STK kurang merata, terlihat bahwa ada aglomerasi partikel. Hal tersebut menyebabkan menurunnya kekuatan mekanis karena distribusi partikel penguat yang merata akan meningkatkan kekuatan mekanis, karena tegangan yang di terima komposit lebih mudah untuk didistribusikan merata ke struktur komposit.

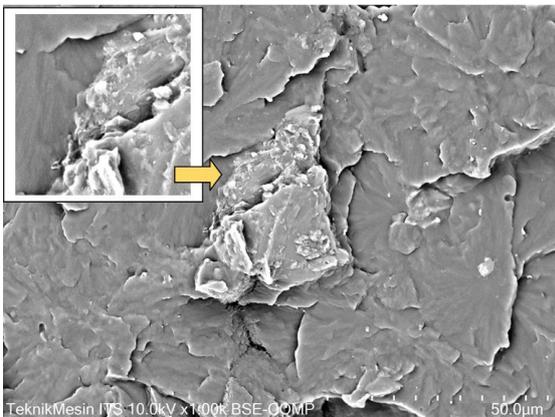
#### Antarmuka Penguat dan Matriks Penampang Melintang

Hasil pemeriksaan SEM untuk antarmuka penguat dan matriks pada penampang melintang dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10, pada kedua gambar tersebut menunjukkan daya rekat yang baik antara matriks polipropilen dan serbuk tempurung kelapa. Bukti ikatan yang baik antara matriks dan penguat juga ditunjukkan oleh patahan yang sebidang dimana penguat juga patah pada bidang patahan matriks dan tidak

terlepas dari matriks. Dapat dilihat juga bahwa partikel tertutup oleh lapisan bahan matriks yang telah ditarik bersama dengan penguat. Ini adalah indikasi yang jelas bahwa pada partikel STK memiliki interaksi tinggi yang efektif antara penguat STK dan matriks polipropilen. Ini menegaskan bahwa kemampuan komposit ditingkatkan secara signifikan untuk menerima tegangan yang ditransfer dari matriks polimer.



Gambar 9: Gambar IV 7: Foto Mikro Melintang Antarmuka Komposit Volume STK 13% Ukuran 250-300 mesh.



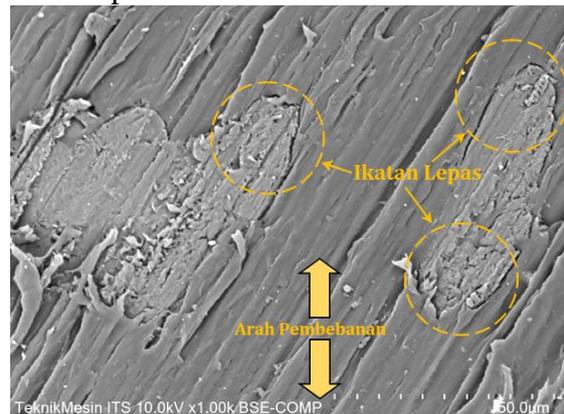
Gambar 10: Foto Mikro Antarmuka Melintang Komposit Volume STK 7% Ukuran 100-150 mesh

Perbedaan hasil analisa sem kedua sampel adalah konsentrasi partikel penguat. Gambar 9 menunjukkan konsentrasi partikel yang lebih banyak dan gambar 10 menunjukkan konsentrasi partikel yang sedikit dimana konsentrasi yang sedikit ini tidak dapat memberikan transfer tegangan yang efisien dari matriks. Ini menunjukkan bahwa penambahan persentase penguat yang rendah ke matriks tidak cukup untuk membentuk sistem yang baik dan oleh karena itu

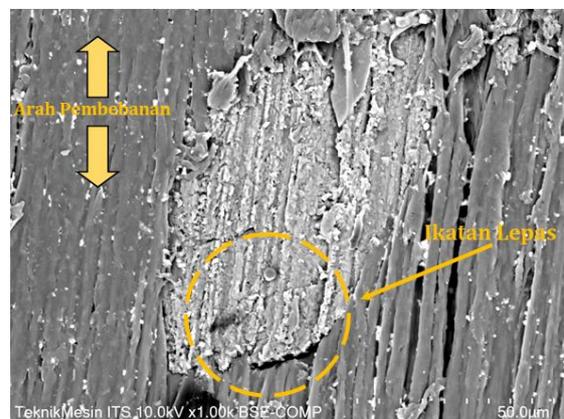
pengurangan kekuatan tarik komposit polipropilen dan STK akan terjadi, seperti yang diverifikasi dalam uji tarik.

#### Antarmuka Penguat dan Matriks Penampang Samping.

Foto struktur mikro antarmuka penguat dan matriks pada penampang samping dapat dilihat pada gambar 10 dan 11, pada kedua gambar tersebut menunjukkan lepasnya ikatan partikel penguat dari matriksnya. Terlihat lepasnya penguat berada di bagian yang searah dengan arah pembebanan, dapat dilihat bagian antarmuka atas dan bawah partikel terdapat rongga. Hal ini terjadi karena ikatan yang kurang baik antara matriks dan penguat dimana ikatan mekanis antarmuka tidak dapat dipertahankan seiring dengan pembebanan yang diberikan, hal ini pula yang menyebabkan menurunnya kekuatan mekanis dari komposit.



Gambar 11: Foto Mikro Antarmuka Samping Komposit Volume STK 7% Ukuran 250-300 mesh



Gambar 12: Foto Mikro Antarmuka Samping Komposit Volume STK 13% Ukuran 100-150 mesh

Interaksi antara matriks dan partikel merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat mekanik komposit partikulat, adhesi yang kurang antara matriks dan partikel penguat menurunkan kekuatan mekanis dari komposit karena adanya rongga yang memutus distribusi beban. Kekuatan mekanis akibat beban aksial yang diverifikasi dengan pengujian tarik, hasil kekuatan tarik paling rendah didapatkan pada variasi ukuran mesh terbesar dan pemuatan terbanyak yaitu variasi ukuran partikel 100-150 mesh pada pemuatan 13%, hal ini disebabkan karena pada variasi tersebut adalah variasi yang memiliki penampang interaksi matriks dan penguat yang paling luas, semakin luas penampang interaksinya maka semakin luas juga rongga yang terjadi akibat pembebanan aksial sehingga distribusi beban paling rendah.

#### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil penelitian, sifat mekanis komposit polipropilen berpenguat serbuk tempurung kelapa memiliki kekuatan tarik antara 14,464 hingga 19,557 MPa. Nilai kekuatan tarik tertinggi didapat dari spesimen dengan variasi pemuatan 7% dan ukuran partikel 250-300 mesh, sedangkan kekuatan tarik terendah didapatkan dari spesimen dengan variasi pemuatan 13% dan ukuran partikel 100-150 mesh.

Sifat mekanis komposit polipropilen berpenguat serbuk tempurung kelapa didapatkan harga dampak sebesar 0,018 hingga 0,054 J/mm<sup>2</sup>. Harga dampak tertinggi didapat dari spesimen dengan variasi pemuatan 13% dan ukuran partikel 100-150 mesh, sedangkan harga dampak terendah didapatkan dari spesimen dengan variasi pemuatan 7% dan ukuran partikel 250-300 mesh.

Besaran pemuatan volume penguat mempengaruhi kekuatan tarik dari komposit, sampel komposit dengan variasi pemuatan serbuk tempurung kelapa sebesar 7% memiliki kecenderungan dengan kekuatan tarik yang tinggi, hal ini disebabkan karena pada pemuatan pemuatan berat yang rendah

rongga yang terjadi pada komposit juga rendah sehingga kekuatan tariknya naik.

Berbeda dengan kekuatan tarik untuk kekuatan dampak besarnya kekuatan dampak dipengaruhi oleh besarnya ukuran partikel, semakin besar ukuran partikelnya maka kekuatan dampaknya cenderung semakin besar. Pada penelitian ini sampel komposit dengan ukuran partikel 100-150 mesh cenderung memiliki nilai dampak yang tinggi, hal ini disebabkan karena pada ukuran partikel yang lebih besar partikel penguat tidak mudah terdeposisi sehingga menaikkan harga dampak. Pada pengujian gugus fungsi kimia, berdasarkan hasil pengujian tersebut tidak ditemukannya gugus fungsi baru atau tidak adanya ikatan kimia pada komposit polipropilen dan serbuk tempurung kelapa dan dengan ini dapat disimpulkan bahwa ikatan yang terjadi antara polipropilen dan serbuk tempurung kelapa hanya ikatan mekanis.

Morfologi permukaan serbuk tempurung kelapa memiliki permukaan yang kasar sehingga secara teori memberikan sifat adhesi yang baik.

Berdasarkan hasil analisa sifat fisik, pada semua sampel komposit yang dianalisa memiliki distribusi partikel yang baik namun memiliki ikatan fisik yang kurang baik yang dibuktikan dengan adanya rongga pada sisi yang searah dengan pembebanan aksial

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk menunjang penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut, perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut pembuatan komposit dengan variasi parameter yang berbeda untuk mendapatkan variasi yang optimal. Serta pembahasan lebih lanjut untuk mekanisme kegagalan dan patahan yang terjadi pada uji mekanis komposit polipropilen berpenguat serbuk tempurung kelapa. Replikasi sampel uji perlu diperbanyak agar mendapatkan sampel uji yang homogen. Perlunya manajemen waktu yang baik dalam melakukan penelitian komposit karena rangkaian penelitian ini membutuhkan waktu yang panjang.

## REFERENSI

- Berthelot, J.M. 1999. *Composite Materials, Mechanical Behaviour and Structural Analysis*. New York: Amerika Serikat. Spring-Verlag.
- Busigin C., Lahtinen R., Matinez, G.M., Thomas, G. dan Woodhams, R.T. 1984. *Polymer Engineering Science*.
- Chartoff R.P. dan Eriksen E.H. 1986 *Polymer Composites*. Berlin.
- Chou, N.J., Kowalczyk, S.P., Saraf, R., Tong, H.M., "Characterization of Polymers", Manning Publication, 1994.
- H.S. Katz, J.V. Milewsky. 1987. *Handbook of Fillers for Plastics*. New York: Amerika Serikat. Van Nostrand Reinhold.
- Haque, M. M., Hasan, M., Islam, M. S., and Ali, M. E. (2009). *Physico- Mechanical Properties of Chemically Treated Palm and Coir Fiber Reinforced Polypropylene Composites*. *Bioresource Technology*. 100: 4903- 4906.
- I.M. Kastiawan, I.N. Sutantra, Sutikno. *Correlation of Holding Time and Bottom Ash Particle Size to Mechanical Properties of Polypropylene Composite*. 2020. *Key Engineering Materials*, Vol. 867, pp 172-181.
- I.M. Kastiawan, I.N. Sutantra, Sutikno. *Effect of Bottom Ash Treatment and Process Variables on the Strength of Polypropylene Composites*. 2020. *International Review of Mechanical Engineering*, Vol. 14, N5.
- Islam, M. N., Rahman, M. R., and Huque, M. M. (2010). *Physical and Mechanical Properties of Chemically Treated Coir Reinforced Polypropylene Composites*. *Composites: Part A*. 4: 192-198.
- J. Sarki, S. B. Hassan, V. S. Aigbodiona and J.E. Oghenevwetaa, "Potential of Using Coconut Shell Particle Fillers in Eco-Composite Materials," *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 509, No. 5, 2011, pp. 2381-2385.
- Javadi, A., Srithep, Y., Pilla, S., Lee, J., Gong, S., and Turng, L. S. (2010). *Processing and Characterization of Solid and Microcellular PHBV/Coir Fiber Composites*. *Materials Science and Engineering C*. 30: 749-757.
- Li, M.; Pu, Y.; Thomas, V.M.; Yoo, C.G.; Ozcan, S.; Deng, Y.; Nelson, K.; Ragauskas, A.J. Recent advancements of plant-based natural fiber-reinforced composites and their applications. *Compos. Part B Eng.* 2020, 200, 108254.
- Pukanszky B., Tudos F., dan Kelen T., 1986. *Polymer Composites*. Berlin.
- R. L. Oréface, L. L. Hench, A. B. Brennan. 2001. *Effect of particle morphology on the mechanical and thermo-mechanical behavior of polymer composites*. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 23.
- Radford KC. *The mechanical properties of an epoxy resin with a second phase dispersion*. *Journal of Material Science* 1971; 6:1286–91.
- Riegner, D.A. and B.A. Sanders. 1979. *A Characterization Study of Automotive Continuous and Random Glass Fiber Composites*; Technical Report MD 79-023, General Motors Manufacturing Development, GM Technical Center, Warren, Michigan.
- Riley, A.M., Paynter, C.D., McGenity, P.M. dan Adams, I.M. 1990. *Plastic Rubber Process & Application*.
- S. Husseinsyah and M. Mostapha, "The Effect of Filler Content on Properties of Coconut Shell Filled Polyester Composites," *Malasian Polymer Journal*, Vol. 6, No. 1, 2011, pp. 87-97.
- S. Mazumdar. 2002. *Composite Manufacturing Materials, Product, and Process Engineering*. Boca Raton, Florida: Amerika Serikat. CRC Press.
- S. Roopa and M. Siddaramaiah, "Mechanical, Thermal and Morphological Behaviours of Coconut Shell Powder Filled Pu/Ps Biocomposites," *Advanced Materials Research*, Vol. 41, No. 14, 2010, pp. 3141-3153.
- W.D. Callister. D.G. Rethwisch. 1999. *Materials Science and Engineering an Introduction Eight Edition*. New York: Amerika Serikat. John Wiley&Sons.Inc.