

KAJIAN SIFAT MEKANIK KOMPOSIT GEOMATERIAL LIMBAH SERBUK GENTENG DAN SERAT KARBON

Sutrisno¹⁾

¹⁾ Dosen Fakultas Teknik Mesin Universitas Merdeka Madiun
Email : sutrisno_wb@yahoo.co.id

Abstract

The roof tile dusts derived from the waste of roof tile industry have not been utilized in technical field. The Sokka roof tile dusts are potential as geomaterial composite material for they have a high strength, a high hardness, and a high-temperature resistance. To produce strong and fire-resistance composites, phenolyc resin and carbon fiber are required. The Sokka roof tiles were respectively crushed, sieved to obtain particles with the size +200, heated in an oven with the temperature of 100 °C for an hour, and molded with hand lay-up technique with the matrix of phenolyc resin of LP1Q EX + carbon fibers. The variations employed were fiber orientation variations of 0/90° and 45/45° with the variables of volume fraction (Sokka roof tile dusts + carbon fibers = 40%) and with the fixed phenolyc resin volume fraction (60%). The result of the research shows that the fiber orientation composition of 0/90° at a 10-laminate variation has the tensile stress of 434.95 MPa and the elasticity modulus of 7.66 GPa. The geopolymer composites are very good to be used as industrial components particularly for automotive industry as they have a good tensile strength.

Keywords: Geopolymer composites, laminate, carbon fiber, and phenolyc.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komposit sangat pesat seiring meningkatnya kebutuhan dunia industri terhadap material dengan karakteristik sepadan dengan logam. Keuntungan penggunaan komposit yaitu tahan korosi, rasio antara kekuatan dan massa jenisnya cukup tinggi (ringan), murah, dan proses pembuatannya mudah. Komposit sudah banyak diaplikasikan diberbagai bidang industri, otomotif, dan kemiliteran (pertahanan dan persenjataan).

Komposit yang kuat dan massa jenisnya kecil diantaranya adalah komposit serat karbon-*phenolyc*. Serat karbon merupakan salah satu bahan komposit yang banyak digunakan pada aplikasi teknologi komposit. Serat karbon mempunyai sifat mekanik yang baik, massa jenisnya kecil memberikan keuntungan pada aplikasinya. Salah satu contohnya adalah *space shuttle* yang menggunakan komposit serat karbon pada *leading edges* dan *nose cone*, dimana temperatur kerjanya dapat mencapai suhu 1500 °C (Middleton, 1990).

Komposit serat karbon termasuk komposit yang mahal. Untuk menjadikan komposit tersebut menjadi lebih murah,

diperlukan material substitusi yang mempunyai sifat hampir sama yaitu kuat dan tahan bakar. Penguat pada komposit selain berbentuk serat juga dapat berbentuk partikel. Diantara material yang sering dipakai sebagai bahan komposit tahan suhu tinggi adalah *fly ash* yang termasuk dalam kelompok *monmorilonit* (MMt). Unsur utama dari *fly ash* adalah silika (SiO₂) dan alumina (AL₂O₃).

Pada saat ini untuk mendapatkan material *fly ash* yang mengalami kesulitan (selain jauh juga memerlukan ijin khusus) maka dicari material pengganti yang mempunyai kandungan hampir sama. Material yang diduga mempunyai kandungan yang hampir sama yaitu serbuk genteng Sokka. Serbuk genteng Sokka dihasilkan dari pengolahan limbah genteng Sokka rusak yang selanjutnya mengalami proses penggilingan. Hal ini telah dibuktikan dengan hasil pengujian XRF bahwa kandungan utama serbuk genteng Sokka adalah silica (SiO₂) 54,59% dan alumina (AL₂O₃) 19,62%.

Teknologi komposit geopolimer merupakan terobosan teknologi yang menjanjikan bagi masa depan dunia

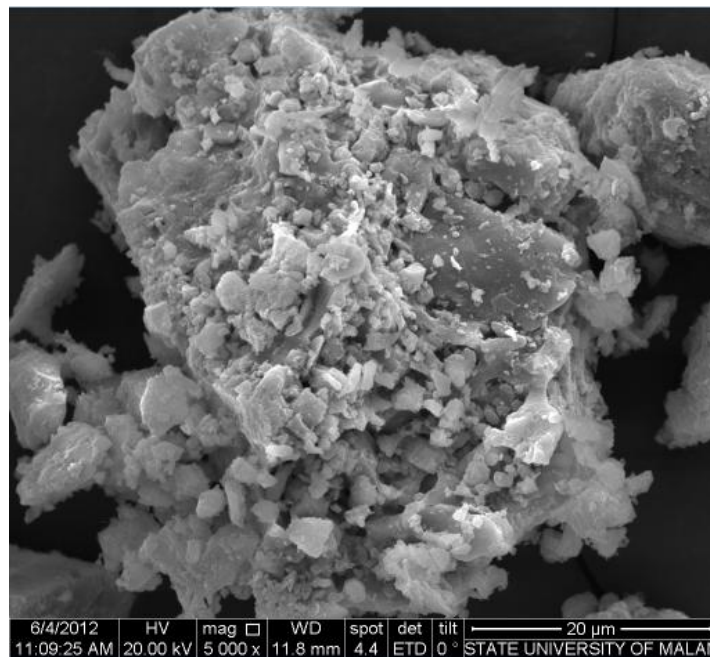
otomotif. Pada bidang kemiliteran (pertahanan dan persenjataan) di Indonesia, riset teknologi komposit geopolimer mulai diterapkan. Geomaterial serbuk genteng Sokka memiliki sifat tahan suhu api, tahan aus, ringan, dan berkekuatan tinggi. Geopolimer sangat menarik karena sifat mekanik dan durabilitas yang mengagumkan terhadap stabilitas termal dan ketahanan terhadap asam (Palomo, 1992). Komposisi matriks geopolimer tidak berubah setelah dipanaskan pada suhu 1200 °C (Bakharev, 2005).

Komposit kuat sangat dipengaruhi oleh penguat dan matrik. Diantara jenis matrik tersebut adalah *phenolyc LP 1Q EX* yang termasuk material *flame retardant* (FR) sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dan tahan api komposit (Quienterre, 2007). Penggunaan serbuk genteng Sokka pada komposit dengan diiringi turunnya fraksi volume serat karbon menjadikan komposit

tersebut lebih murah serta meningkatkan nilai ekonomis limbah genteng Sokka.

TINJAUAN PUSTAKA

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Campuran tersebut menghasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik ini yang berbeda dari material pembentuknya. Material komposit mempunyai sifat dari material konvensional pada umumnya dari proses pembuatannya melalui campuran yang tidak homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan jalan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat dengan gabungan yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat (Gibson, 1994)



Gambar 1. Hasil SEM serbuk genteng Sokka

Untuk meningkatkan sifat mekanik komposit khususnya kekuatan tarik diperlukan tambahan bahan yaitu serat. Bahan serat ada dua macam yaitu serat alam dan serat sintesis. Serat karbon termasuk dalam golongan serat sintesis. Komposit geomaterial diperkuat serat karbon jenis pendek (Cf/geopolimer komposit), hasil

menunjukkan bahwa serat karbon pendek memiliki penguatan yang besar dan efek ketangguhan yang tinggi. Dengan meningkatnya kadar serat, efek penguatan dan ketangguhan dari serat karbon pendek hal ini disebabkan karena pengaruh serat, terjadi tegangan geser tinggi terjadi antara serat dan matrik. Peningkatan propertis

terutama didasarkan pada struktur jaringan serat karbon pendek dan mekanisme ketangguhan menghasilkan komposit yang kuat (Tiesong *et al.*, 2009).

Kekuatan tarik komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Kekuatan komposit dipengaruhi oleh besarnya diameter dan panjang serat, diameter yang kecil akan semakin baik, karena luas permukaan serat akan lebih besar untuk setiap berat yang sama sehingga transfer tegangan dari matrik yang diterima oleh serat akan lebih maksimal (Diharjo dan Triyono, 2000).

Komposit selain mempunyai sifat mekanik yang kuat juga diharapkan tahan terhadap suhu tinggi. Ma Chen-Chi M *et al.*, (1997) melakukan penelitian tentang

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini bahan dan alat yang dipakai antara lain:

1. Bahan yang digunakan antara lain:
 - a. Serbuk genteng Sokka dengan ukuran butir +200.
 - b. Serbuk genteng Sokka dihasilkan pengolahan genteng Sokka dengan cara dihancurkan sampai menjadi

komposit serat glass dengan matrik resin *phenolyc*, hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi pada variasi yang mengalami *postcuring*. Penelitian tentang kekuatan mekanik komposit serat alam dengan resin *epoxy* dengan variasi orientasi arah serat yaitu 0/45° dan 90/90°, hasil menunjukkan bahwa kekuatan paling tinggi terjadi pada orientasi serat 0/90° (Malaiah *et al.*, 2013). Penelitian tentang baju tahan peluru telah dilakukanya dari bahan polimer jenis *polyester* dengan penguat butiran silikon karbid (SiCp) dan serat karbon. Butiran *silicon karbid*, serat karbon, dan *polyester* dipress sampai rata kedalam cetakan dengan diameter 11,5 cm dan tinggi 1 cm. Pengerasan dilakukan secara alami dengan waktu 24 jam (Anakottapary dan Nindia, 2010).

- c. butiran, setelah itu dilakukan pengayakan sampai didapatkan ukuran butir +200.
- c. *Phenolyc* LP 1Q EX.
- d. Serat karbon.



Gambar 2. Serat karbon

2. Alat yang digunakan antara lain:
 - a. Mesin penghancur
Digunakan untuk menghancurkan genteng Sokka sehingga menjadi serbuk dengan penggerak motor listrik 1,5 Hp.

- b. Neraca digital
Alat ini digunakan untuk menimbang material dengan ketelitian 0,001 g dan kemampuan maksimal 500 g.
- c. Ayakan

- Digunakan untuk mengayak serbuk genteng Sokka dengan mesh 200.
- d. Tempat pengaduk dan pengaduk
Alat ini digunakan untuk megaduk bahan yaitu *phenolyc* dengan serbuk genteng Sokka (SGS).Alat bantu lain: gunting, *cutter*, penggaris, jangka sorong, gerinda tangan, dan *Astralon*.
3. Prosedur pelaksanaan:
- Menyiapkan serbuk genteng Sokka yang sudah di *oven* lalu ditimbang sesuai kebutuhan.
 - Menyiapkan *phenolyc*, katalis, dan promotor sesuai ukuran kebutuhan.
 - Menyiapkan serat karbon yang sudah dipotong sesuai ukuran dan jumlah tertentu.
 - Menyiapkan cetakan sesuai ukuran yang telah direncanakan.
 - Mencampur *phenolyc*, katalis, dan promotor sampai rata lalu ditambah dengan serbuk genteng Sokka.
 - Campuran yang sudah jadi dituang dalam cetakan sedikit demi sedikit

- Cetakan terbuat dari kaca yang didesain sesuai ukuran.
Digunakan sebagai cetakan untuk membuat spesimen komposit.
 - Mesin uji tarik
Alat ini digunakan untuk menguji kekuatan tarik spesimen komposit sehingga didapatkan data pengujian yang diinginkan.
- sambil dimasukkan serat karbon, langkah-langkah ini dilakukan sampai selesai.
- Setelah selesai cetakan tadi di tutup dengan kaca lagi supaya permukaan sebelah atas rata.
 - Setelah kira kira 2 jam cetakan dibuka, spesimen diambil, dan dibuat spesimen sesuai dengan ukuran yang diinginkan.
 - Spesimen yang sudah jadi di *oven* selama 1 jam dengan suhu 100 °C.
 - Spesimen tersebut siap untuk dilakukan pengujian sesuai dengan standar ASTM.

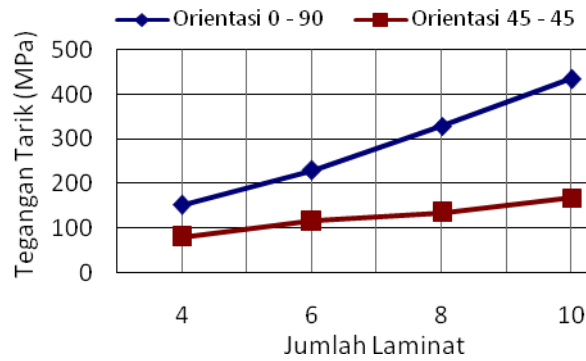
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekuatan tarik komposit serat karbon serbuk genteng Sokka dengan

variasi orientasi ditunjukkan pada tabel dibawah.

Tabel 1. Hasil pengujian kekutan tarik.

Jumlah Laminat	Tegangan Tarik (MPa)		Modulus Elastisitas (GPa)		Regangan (mm/mm)	
	Orientasi (0/90°)	Orientasi (45/45°)	Orientasi (0/90°)	Orientasi (45/45°)	Orientasi (0/90°)	Orientasi (45/45°)
4 (16% S. Karbon, 24% SGS)	152,26	80,67	4,57	3,66	0,043	0,052
6 (24% S. Karbon, 16% SGS)	229,85	115,60	6,34	3,98	0,046	0,069
8 (32% S. Karbon, 8% SGS)	328,64	135,05	7,33	4,01	0,059	0,080
6 (40% S. Karbon, 0% SGS)	434,95	168,14	7,66	4,25	0,074	0,108



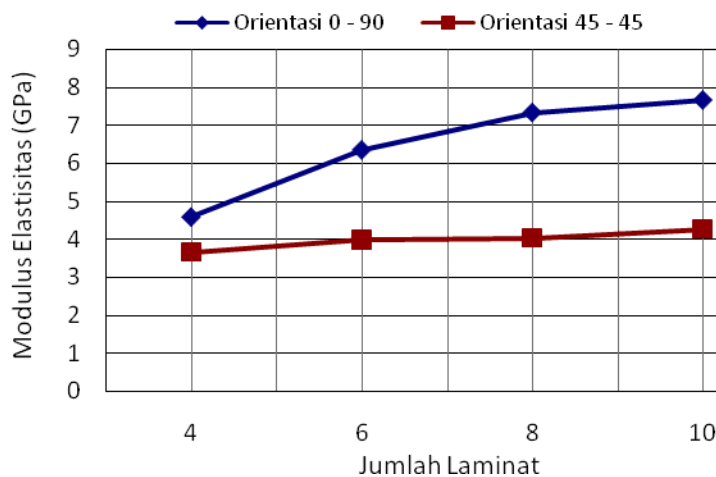
Gambar 3. Hubungan jumlah laminat, orientasi, dan tegangan tarik

Kekuatan tarik orientasi 0/90° lebih baik dibandingkan dengan kekuatan tarik orientasi 45/45°. Pada gambar 3 menunjukkan kekuatan tarik variasi orientasi 45/45° rata-rata mempunyai nilai kekuatan tarik ½ dari variasi orientasi 0/90°. Perbedaan nilai kekuatan tarik disebabkan adanya perbedaan orientasi serat pada masing-masing komposit tersebut. Perbedaan orientasi serat akan berpengaruh pada kemampuan komposit dalam menahan beban.

Tegangan tarik pada serat dengan orientasi sudut 0/90° sebesar $\sigma_x =$ tegangan serat. Orientasi serat dengan sudut orientasi 45/45° akan muncul tegangan $\sigma_x =$ tegangan serat x $\cos 45^\circ$ (tegangan serat x 0,7071). Kekuatan tarik pada komposit sangat dipengaruhi oleh jumlah prosentase serat serta ikatan antara matrik dan penguatnya (Choi *et al.*, 1999). Ikatan yang baik dibuktikan dengan adanya matrik yang menempel pada serat setelah *pull out*, serat yang mengalami *pull out* lebih pendek dan bentuk permukaan patahan lebih rata. Pada

orientasi 0/90° kekuatan tarik meningkat seiring dengan jumlah fraksi volume serat. Fraksi volume serat semakin meningkat dengan diiringi turunnya fraksi volume SGS mengakibatkan ikatan antara matrik dan penguat semakin baik. Pada variasi 10 laminat ikatan antara penguat (serat karbon tanpa serbuk genteng Sokka) menghasilkan ikatan yang baik. Dilihat pada foto SEM ada sebagian matrik yang masih menempel pada serat setelah terjadi *pull out*.

Kekuatan tarik dari komposit didominasi oleh serat karbon daripada serbuk genteng Sokka. Hasil penelitian ini didukung oleh Malaiah *et al.*, (2013) yang mengatakan bahwa kekuatan tarik serat rami dan bambu dengan matrik resin epoxy variasi orientasi 0/90° lebih kuat daripada orientasi 45/45°. Variasi orientasi 0/90° arah serat sejajar dengan arah gaya tarik sehingga gaya tarik sebagian besar ditahan oleh serat sedang matrik berfungsi mengikat serat/menjaga serat atau penguat tetap pada tempatnya dan meneruskan gaya secara merata terhadap penguat.

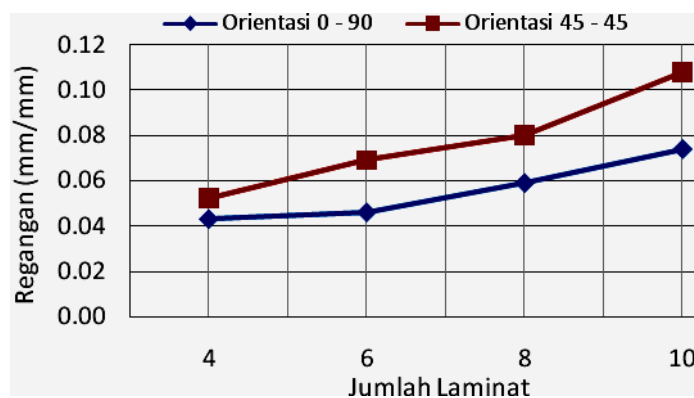


Gambar 4. Hubungan Jumlah laminat, orientasi, dan modulus elastisitas

Modulus elastisitas material komposit dipengaruhi oleh kekuatan tarik dan regangannya. Modulus elastisitas didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dengan regangan suatu bahan selama gaya yang bekerja tidak melampaui batas elastisitasnya. Semakin besar modulus elastisitas serat/penguat bahan komposit maka semakin tinggi pula kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit tersebut yang mengakibatkan regangannya semakin kecil.

Modulus elastisitas tertinggi sebesar 7,56 GPa pada orientasi 0/90° (10 laminat)

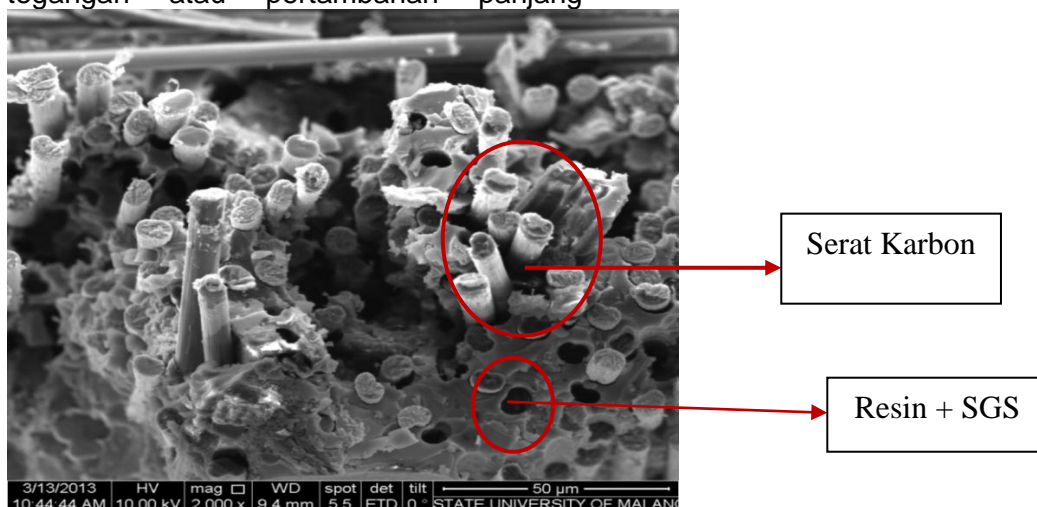
dan yang terendah sebesar 4,57 GPa pada orientasi 0/90° (4 laminat). Modulus elastisitas rata-rata lebih tinggi pada variasi orientasi 0/90°. Hal ini disebabkan pada orientasi tersebut beban tarik searah dengan arah serat. Modulus elastisitas serat karbon tinggi (23,5 kg/mm²). Hal ini yang menyebabkan semakin meningkat fraksi volume serat, modulus elastisitas komposit juga semakin meningkat. Pada variasi 10 laminat penguatnya serat karbon (40% tanpa serbuk genteng Sokka) sedang matrik (60%) dapat mengikat serat secara maksimal.



Gambar 5. Hubungan variasi jumlah laminat, orientasi, dan regangan

Nilai regangan pada orientasi 45/45° mempunyai nilai rata-rata lebih tinggi dari orientasi 0/90° pada jumlah laminat yang sama seperti terlihat pada gambar 5. Kekuatan tarik orientasi 0/90° lebih tinggi bila dibandingkan pada orientasi 45/45°. Regangan dapat didefinisikan perubahan relatif atau bentuk benda yang mengalami tegangan atau pertambahan panjang

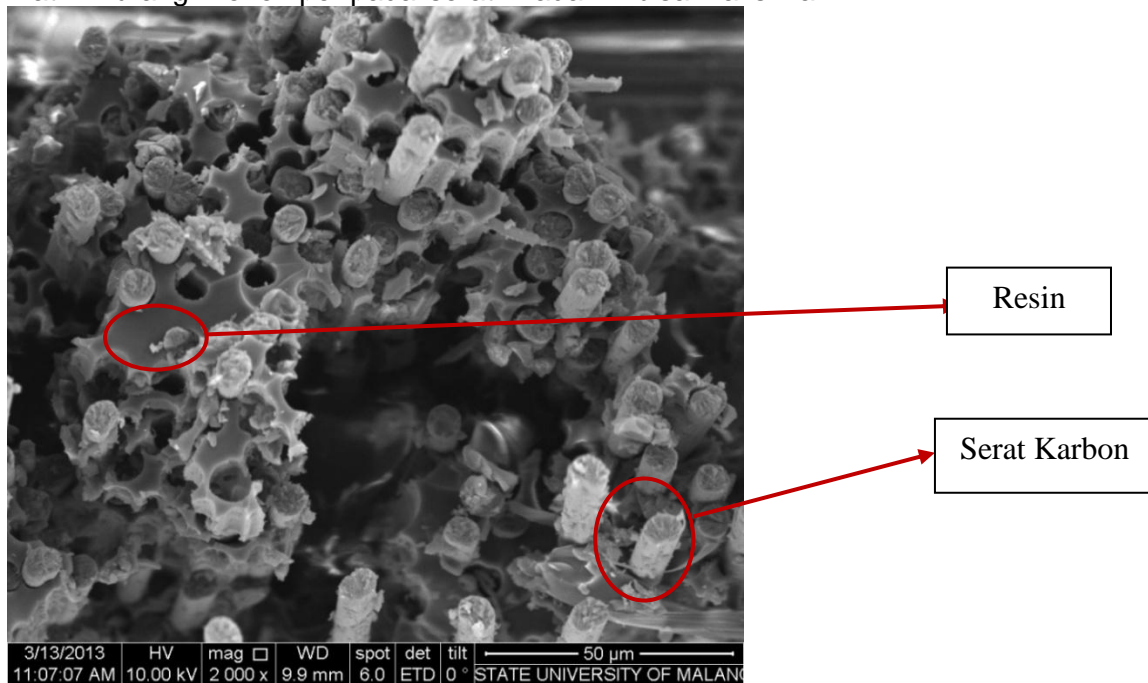
dibandingkan dengan panjang awal dari material tersebut. Arah serat pada orientasi 45/45°, setelah menerima gaya akan mengalami perubahan arah serat sesuai arah gaya yaitu sejajar dengan tegangan yang terjadi. Hal ini mengakibatkan regangan pada orientasi 45/45° lebih besar daripada orientasi 0/90°.



Gambar 6. Foto SEM penampang patah komposit variasi 6 Laminat (24% serat karbon, 16% SGS)

Hasil SEM (*scanning electron microscope*) menunjukkan bahwa pada variasi 6 laminat menunjukkan serat mengalami *pull out* (terjabut) lebih panjang daripada 10 laminat, selain itu serat yang mengalami *pull out* tampak bersih atau matrik kurang menempel pada serat. Pada

6 laminat penguat terdiri dari serat karbon (24%) dan serbuk genteng Sokka (16%) sehingga matrik selain mengikat serat karbon juga mengikat serbuk genteng Sokka. Hal ini mengakibatkan ikatan antara serat karbon sebagai penguat utama tidak bisa maksimal.



Gambar 7. Foto SEM penampang patah komposit variasi 10 Laminat (40% serat karbon)

Hasil SEM (*scanning electron microscope*) menunjukkan bahwa pada variasi 10 laminat ikatan antara matrik dan serat lebih baik jika dibandingkan dengan variasi 6 laminat. Variasi 10 laminat menunjukkan ikatan matrik yang menempel pada serat kelihatan baik, hal ini disebabkan pada komposit tersebut penguat serat karbon (40%) tidak ada tambahan bahan penguat yaitu serbuk genteng Sokka, yang mengakibatkan matrik (resin *phenolyc*) dapat mengikat secara baik serat karbon (penguat

utama komposit). Hasil *pull out* serat karbon menunjukkan rata-rata lebih pendek dan matrik dapat menempel pada serat yang *pull out* (serat yang terlepas dari matrik). Hasil penelitian ini diperkuat oleh Choi *et al.*, (1999) yang mengatakan patahan permukaan serat yang mempunyai permukaan lebih rata, *pull out* lebih pendek, matrik dapat menempel serat, dan bentuk permukaan patahan komposit juga lebih rata menunjukkan ikatan antara matrik dan penguat lebih baik

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisa data, maka dapat disimpulkan: kekuatan tarik komposit mengalami peningkatan cukup signifikan seiring dengan bertambahnya fraksi serat karbon

SARAN

Untuk meningkatkan hasil yang lebih baik dibidang komponen industri khususnya dibidang industri otomotif sebaiknya menggunakan material komposit geomaterial yaitu komposisi orientasi 0/90°

dan dan berkurangnya serbuk genteng Sokka yaitu pada variasi orientasi 0/90° laminasi serat 10 laminat dengan nilai tegangan tarik 434,95 MPa dan modulus elastisitas 7,66 GPa.

pada laminasi 10 laminat karena mempunyai sifat kekuatan tarik, ketahanan bakar tinggi, dan massa jenisnya yang ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anakottapary Daud Simon, Tjokorda Gde Tirta Nindhia. 2010. Interaksi antara proyektil dan Komposit Polimer Diperkuat Butiran Silikon Karbit (SiCp) dan Serat karbon Pada Pengujian Balistik. Teknik Mesin Universitas Udayana Bali. Cakra M Vol. 4 No. 2. (99-105).
- Annual Book of ASTM D 638 – 02. 2002. *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, New York, USA.
- Anonim. 2002. Technical data Sheet: Sifat fisik YUKALAC LP 1Q EX dan SERAT KARBON, PT. Justus Kimiaraya, Jakarta.
- Bakharev, T.. 2005. *Resistance Of Geopolymer Materials To Acid Attack*, *Cement and Concrete Research* 35, page 658–67
- Choi M.H., B.H. Jeon, I.J. Chung. 2000. *The Effect Of Coupling Agent on Electrical and Mechanical Properties Of Carbon Fiber/Phenolic Resin Composites*, Department of Chemical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology. *Polimer* 41 (3243-3252).
- Diharjo K., Triyono. T.. 2000. *Material Teknik*. UNS Press.
- Gibson, O. F.. 1994. *Principles of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill International Edisional Editions, USA.
- Ma Chen-Chi M., Hew-Der Wu, Yi-Feng Su, Min-Shiu Lee, Yiu-Don Wu. 1997. *Pultruded Fiber Reinforced Novolac Type Phenolyc Composite – Processability, Mechanical Properties and Flame Resistance*. *Composite Part A* 28A 895-900.
- Malaiah Sripathy, Krishna Vinayak Sharma, M Krishna. 2013. *Investigation on Effect of Fiber and Orientation on the Properties of Bio-Fibre Reinforced Laminates*. *International Journal of Engineering Inventions* e-ISSN: 2278-7461, p-ISSN: 2319-491 Volume 2, Issue 2.
- Middleton Donald H. 1990. *Composite Material in Aircraft Structures*. Longman Scientific dan Technicaled.
- Palomo A., Macías, A., Blanco, M.T., Puertas, F.. 1992. *Physical, Chemical and mechanical characterization of geopolymers*. In: *Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cement*, New Delhi, India 5, page 505–511.
- Quintiere James G., Richard N. Walters, Sean Crowley. 2007. *Flammability Properties Of Aircraft Fiber Structural Composite*. Dept of Fire Protection Engineering University Of Maryland.