

Pengaruh Filler Partikel Serbuk Genting Limbah (PSGL) terhadap Mekanik dan Sifat Thermal Komposit Polyester-Serat Cantula

Siswanto¹, Basmal²

¹ Program Studi Teknik Mesin Politeknik Pratama Mulia Surakarta.
Jl. Haryo Panular 18 A, Surakarta, Jawa Tengah 57149

Email: siswanto.politama@gmail.com

² Program Studi Teknik Mesin Politeknik Pratama Mulia Surakarta.
Jl. Haryo Panular 18 A, Surakarta, Jawa Tengah 57149

Email: basmal1967@gmail.com

Abstract

Effect of precarious powder particles waste filler (PSGL) on mechanical properties and thermal properties of polyester-fiber composites cantula. This study aims to determine the effect of waste tile filler powder particles on Polyester-fiber composite on mechanical properties and thermal properties. Testing of mechanical properties of the composite is through by testing the impact strength (ASTM D 5941 standard), flexural strength test (ASTM D 790 standard), and a Burn Rate test (ASTM D 635 standard). Tests to determine the thermal properties of the test conducted by FTIR, and SEM to determine the composite morphology. Polyester resin matrix composites using BQTN 157, reinforced by hibride using fiber cantula cut 10 cm and composed of random and precarious powder particles 100-120 mesh, as well as with MEKP hardener. Fiber cantula with a volume fraction of 40% mixed with precarious powder particles using Isopropyl Alcohol 5 wt%, mixing with a mixer for 10 minutes rotation of 100 rpm, variations precarious powder particles in the mix is 0, 2, 4, 6, and 8%. Mixture and then in a molding press using a machine press with pressing 28 kg / cm² to holding time 20 hours. Composite then cut into specimens and soaking treatment for 300 hours with the soaking fluid: Sea Water and mineral Water + vinegar woter 40%. The results of the measurement data obtained that composite specimens reinforced cantula fiber and filler PSGL 0% have flexural properties and impact properties is higher than the composite reinforced cantula fiber and filer PSGL 2, 4, 6, and 8%. FTIR characteristics of composite specimens unchange reactions and changes between the untreated composites with composite soaking treatment.

Keywords: Composite polyester, reinforcing hibride, vinyl silane coupling agent.

1. Pendahuluan.

Material konstruksi mesin sebagian besar menggunakan material baja, bahan baja merupakan material yang kuat keras dan ulet, tetapi kelemahan baja adalah berat. Material komposit polimer adalah salah satu bahan yang banyak di implementasikan sebagai material alternative pada konstruksi mesin. Kelebihan material komposit polimer dibandingkan dengan material lain adalah bahwa salah satu sifat istimewanya yaitu ringan, kuat, tidak terpengaruh korosi dan mampu bersaing dengan logam, tidak kehilangan karakteristik dan kekuatan mekanisnya. Beberapa contoh penggunaan polimer komposit sebagai komponen mesin diantaranya sebagai *Cover Gear Box turning machine*, roda pemutar bagian-bagian mesin perkakas, dan sebagainya.

Penggunaan serat alam sebagai penguat pada komposit polimer saat ini cukup pesat. Jenis serat alam yang banyak digunakan adalah: *Sisal, Flax, hemp, Abaca, and kenaf* (Mark C. Symington, 2009). Keunggulan serat alam apabila dibanding dengan serat sintesis adalah kandungan unsur karbon dioksida pada serat

alam bersifat netral dan atraktif sehingga lebih aman terhadap lingkungan dan iklim. Keuntungan lain adalah ketersediaan serat alam di Indonesia sangat melimpah. Peningkatan sifat mekanik komposit selain melalui pemanfaatan serat, juga banyak digunakan material serbuk/partikel sebagai Filler (Pegisi) komposit. Tanah lempung merupakan salah satu bahan yang saat ini banyak dipakai untuk pengisi komposit terutama pada matrik epoksi dengan skala nanokomposit. Tanah jenis lempung memiliki struktur berlapis yang digunakan sebagai pengisi. Montmorillonite (MMT), hektorit, dan saponite yang paling sering digunakan (Soundararajah, 2005). Tanah liat dipilih karena ketersediaannya di alam cukup melimpah, harga relatif murah. Penggunaan clay tanah liat pada komposit dapat meningkatkan kekakuan, kekuatan, dimensi stabil.

Pengembangan untuk peningkatan sifat-sifat material komposit polimer terus mengalami kemajuan yang pesat. Ketahanan material komposit sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan kondisi alam seperti radiasi ultraviolet, kelembaban, dan fluktuasi suhu

(Pujiatuti, 2010). Daya penyerapan yang tinggi komposit terhadap uap air merupakan salah satu penyebab terjadinya penurunan sifat mekanik komposit. Penguatan kimia *Additif Silane Coupling Agent* pada komposit membuat permukaan komposit lebih baik dan menurunkan sifat komposit terhadap penyerapan, selain itu *Silane Coupling Agent* pada komposit polimer berpenguat serat berperan penting yaitu meningkatkan sifat adhesi antara matrik dan serat (M. Abdelmouleh, 2006). *Jenis coupling agent* sebagai *additif* pada komposit polimer disesuaikan dengan jenis polimernya. *Coupling agent 3-APE* pemanfaatannya secara umum menurut "Mitsubishi International Polymer Trade Corporation" banyak di gunakan pada polimer epoxy, penolic, melamin dan Nylon. Sedangkan Polimer *unsaturated Polyester* resin banyak memanfaatkan *Coupling agent Vinylsilane* sebagai *additif*.

Berdasarkan uraian tersebut diatas, maka akan dibuat sebuah inovasi peningkatan sifat mekanik dan sifat *thermal* material komposit poliester BQTN 157/serat cantula/filler partikel serbuk genteng limbah dan penambahan *additive Coupling Agent Vinyl Silane*. Penambahan serbuk genteng dan *additif* pada bahan diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik dan sifat *thermal* komposit. Penelitian komposit poliester penguat hibride serat cantula dan pengisi Partikel Serbuk Genteng Limbah dengan *additif* Vynil Silane tersebut belum di teliti sebelumnya, sehingga komposit hasil penelitian ini dapat menjadi reffernsi pengembangan material terbaru untuk material alternatif di industri.

2. Metodologi.

2.1 Bahan penelitian.

Matrik komposit menggunakan *Polyester* resin BQTN 157, Penguat komposit menggunakan hibrid antara serat *cantula* dan serbuk genteng limbah. Hardener menggunakan MEKP dan *compatibilizer* menggunakan *Vinyl silane*. Serat *cantula* di potong panjang 10 mm, serbuk genteng di buat mesh 100-120.

2.2 Perlakuan Serat Cantula dan partikel genteng limbah.

Serat *cantula* setelah bersih dan kering kemudian di oven pada temperature 100 °C, partikel genteng di oven temperatur 250 °C. Pengovenan bahan dilakukan masing-masing selama 20 menit. Perlakuan bahan bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa pada serat serta mendapatkan bahan yang kering sehingga permukaan bahan dapat menyerap matrik poliester dengan baik.

2.3 Pembuatan Spesimen Komposit.

Serat *cantula*, serbuk partikel genteng, dan *Isopropyl Alkcohol* 5 wt% dicampur menggunakan mixer pada putaran 100 rpm selama 10 menit. Fraksi volume serat *cantula* adalah 40%, variasi partikel serbuk genteng adalah 0, 2, 4, 6, dan 8 %. Bahan yang sudah di campur kemudian di keringkan selama 2 jam dengan hembusan kipas angin dalam ruangan. Bahan setelah kering kemudian dimasukkan kedalam cetakan. Matrik *Polyester*, *hardener MEKP* 2wt% dan *Vinyl silane coupling agent* 5wt% dicampur menggunakan mixer dengan putaran 100 rpm selama 5 menit. Bahan setelah di campur kemudian di tuangkan pada cetakan mesin press dan kemudian di press tekanan 28 kg/cm² selama 20 jam. Komposit setelah mengeras kemudian di lepas dari cetakan untuk di bersihkan, komposit di timbang dan di potong-potong sesuai ukuran specimen.

2.4 Perlakuan Spesimen Komposit.

Spesimen komposit diberikan perlakuan perendaman menggunakan Air laut air mineral + 40% air cuka. Perlakuan perendaman selama 300 jam di dalam ruangan laboratorium mesin perkakas Politeknik Pratama Mulia Surakarta Jawa Tengah. Setelah perlakuan perendaman, kemudian spesimen komposit di tiriskan selama 24 jam dan dioven selama 20 menit suhu 125 °C.

2.5 Pengujian Komposit

Pengujian sifat mekanik spesimen komposit menggunakan uji kekuatan lentur, uji kekuatan impak, dan uji ketahanan laju bakar. Sedangkan uji *thermal* menggunakan FTIR. Pengujian dilakukan di Universitas Sebelas Maret Surakarta.

2.5.1 Pengujian kekuatan lentur.

Pengujian lentur spesimen menggunakan metode *Three Point Bending* mengacu standar ASTM D 790. Besarnya tegangan lentur dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_b = \frac{3 PL}{2bd} \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana : σ_b = Kekuatan lentur (N/mm²),
L= Jarak tumpuan (mm), b= Lebal spesimen (mm), d = Tebal spesimen (mm).

2.5.2 Pengujian kekuatan impak.

Pengujian impak spesimen menggunakan metode *Izod* mengacu standar ASTM D 5941. Besarnya energi serap spesimen dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_{\text{serap}} = WR (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : E_{serap} = Energi serap (Joule), W = Berat pendulum (N), R = Jarak pendulum terhadap titik poros (m), θ_1 = Sudut ayun pendulum tanpa spesimen, θ_2 = Sudut ayun pendulum setelah mematahkan spesimen.

Dengan mengetahui besarnya energi yang diserap oleh material, maka kekuatan impak (a_{cU}) spesimen dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$a_{cU} = \frac{E_{\text{serap}}}{h \times b} \times 10^{-3} \quad \dots\dots (2)$$

Dimana, a_{cU} = Kekuatan impak (kJ/m^2), E_{serap} = Energi serap (Joule), h = tebal specimen (mm), b = lebar specimen (mm).

2.5.3 Pengujian laju pembakaran.

Pengujian ketahanan laju bakar ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan komposit terhadap laju bakar. Sebuah spesimen material yang akan diuji ditempatkan pada posisi horizontal pada salah satu ujungnya. Panjang spesimen yang di bakar adalah 100 mm. Laju pembakaran adalah panjang spesimen yang terbakar (100 mm) dalam satuan waktu (detik). Laju kecepatan bakar dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut (ASTM D 635-38).

$$V = 60 L / t \quad \dots\dots\dots (4)$$

Dimana : L = Panjang pembakaran. (mm), t = Waktu pembakaran (detik).

2.5.4 Pengujian thermal dengan FTIR.

Spektroskopi FTIR merupakan suatu metode analisis yang dipakai untuk karakterisasi bahan polimer dan analisis gugus fungsi dengan cara menentukan dan merekam hasil spektra residu dengan serapan energi oleh molekul organik dalam sinar infra merah.

3. Hasil dan Pembahasan.

3.1 Fluida perlakuan perendaman spesimen.

Perlakuan perendaman spesimen komposit menggunakan Air laut air mineral dan 40% air Cuka. Air fluida perendmana sebelum di gunakan memiliki memiliki Ph 1,9. Fluida perendaman setelah di gunakan menjadi Ph 2,2. Ukuran Ph air tersebut baik sebelum di gunakan maupun setelah digunakan adalah memiliki ukuran Ph yang rendah, sifat air dengan Ph rendah bersifat sangat asam. Fluida rendaman bersifat sangat asam memiliki konsentrasi elektrolit yang besar. Konsentrasi elektrolit sedemikian akan menyebabkan spesimen komposit terdegradasi dan menjadi rapuh.

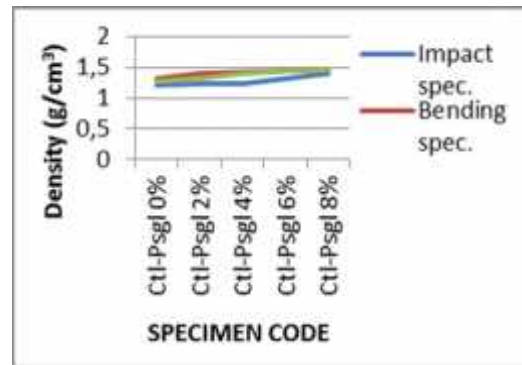
3.2. Pengukuran densitas spesimen.

Densitas komposit diukur dengan cara menimbang . Data pengukuran densitas masing-masing spesimen ditunjukkan pada tabel 1. dibawah. Variasi filler partikel serbuk genteng limbah (PSGL) berpengaruh pada ukuran densitas komposit yang terjadi. Densitas komposit meningkat seiring dengan kenaikan prosentasi partikel serbuk genteng (PSGL). Komposit dengan *filler* PSGL 8% memiliki densitas tertinggi dibanding komposit dengan prosentasi *filler* PSGL 0, 2, 4, dan 6%.

Tabel 1: Data densitas spesimen komposit.

Composit Specimen	Density composite specimen (g/cm^3)		
	Impact spec.	Bending spec.	Burn rate spec.
Ctl-Psgl 0%	1,21	1,31	1,27
Ctl-Psgl 2%	1,23	1,39	1,31
Ctl-Psgl 4%	1,24	1,41	1,39
Ctl-Psgl 6%	1,32	1,45	1,44
Ctl-Psgl 8%	1,39	1,47	1,46

Perbedaan pengaruh prosentasi *filler* PSGL terendah (0%) dan komposit dengan *filler* PSGL tertinggi (8%) masing-masing spesimen komposit adalah bahwa pada spesimen impak sebesar 12,9%, spesimen uji lentur 12,2%, dan spesimen uji laju pembakaran 14,9%. Grafik kenaikan densitas masing-masing spesimen komposit di tunjukkan pada gambar 1 dibawah.



Gambar 1: Grafik densitas spesimen

3.3. Pengujian kekuatan lentur Spesimen.

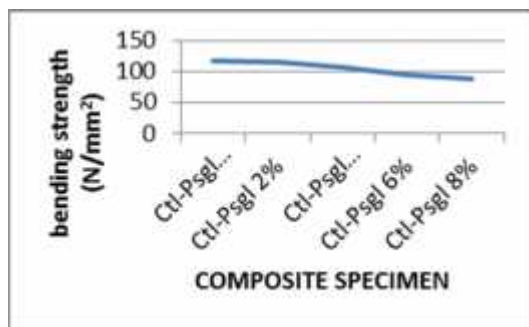
Spesimen komposit berpenguat serat *cantula* Vf 40%, *compatibilizer* Vynil Silane 5 wt%, *filler* Partikel serbuk genteng limbah (PSGL) 0% adalah spesimen tanpa perlakuan perendaman. Sedangkan komposit dengan filler PSGL 2, 4, 6, dan 8% adalah spesimen dengan perlakuan perendaman. Penambahan filler PSGL pada komposit berpengaruh pada penurunan sifat kekuatan lentur spesimen. Data pengujian kekuatan lentur spesimen di tunjukkan pada tabel 2 dibawah.

Penurunan kekuatan lentur terjadi seiring dengan meningkatnya prosentasi *filler* PSGL pada komposit. kekuatan lentur terbesar terjadi pada spesimen dengan *filler* PSGL 0% (spesimen tanpa perlakuan). Peningkatan prosentasi *filler* sejenis PSGL juga di kemukakan oleh Soundararajah, etc all 2009. bahwa peningkatan prosentasi pengisi monmorilonit (MMT) pada komposit Polyvinil alcohol (PVA) menyebabkan penurunan kekuatan tarik komposit (Soundararajah, 2005).

Tabel 2. Data pengujian kekuatan lentur spesimen.

Composite specimen	Bending Strength (N/mm ²)	Std Dev	A decline bending strength (%)
Ctl-Psgl 0%	116,39	3,79	0
Ctl-Psgl 2%	114,45	2,94	1,7
Ctl-Psgl 4%	107,35	4,04	7,8
Ctl-Psgl 6%	95,07	6,65	18,3
Ctl-Psgl 8%	87,81	3,72	24,6

Perbedaan kekuatan lentur komposit *filler* PSGL 0% dengan komposit *filler* PSGL 8% sebesar 11,2%. Grafik penurunan kekuatan lentur spesimen komposit dapat di lihat pada gambar 2 dibawah.



Gambar 2. Grafik Kekuatan lentur Spesimen Komposit.



(a)



(b)

Gambar 3. Foto Makro Permukaan Spesimen komposit uji lentur pembesaran 10 kali.

- (a). PSGL 0% tanpa perlakuan perendaman.
- (b). PSGL 8% dengan perlakuan perendaman.

Permukaan komposit dengan *filler* PSGL 8% ditunjukkan pada gambar 3b, terdapat pencampuran tidak homogen. Sebaran PSGL tidak merata pada setiap celah serat dengan baik, hal tersebut menyebabkan matrik poliester tidak mampu mengisi disetiap permukaan serat dan permukaan PSGL. sehingga menyebabkan ikatan matrik dengan serat penguat dan partikel pengisi kurang baik.

3.4 Pengujian kekuatan dampak spesimen.

Perlakuan perendaman spesimen komposit menyebabkan meningkatnya daya penyerapan komposit terhadap air. Penggunaan *Compatibilizer Vinyl silane* pada komposit poliester berpenguat hibride serat *cantula* dan partikel serbuk genteng limbah (PSGL) bertujuan memperkecil sifat penyerapan komposit terhadap air sehingga sifat mekanik komposit tidak mengalami penurunan yang tinggi. Komposit dengan prosentase *filler* PSGL, maka sifat dampak mengalami penurunan. Data pengujian kekuatan dampak spesimen komposit ditunjukkan pada tabel 3 dibawah.

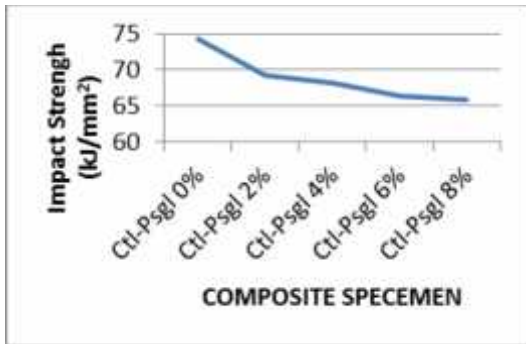
Tabel 3. Data pengujian kekuatan dampak spesimen.

Composite Specimen	Impact Strength (kJ/mm ²)	Std Dev	A decline impact strength (%)
Ctl-Psgl 0%	74,26	2,31	0
Ctl-Psgl 2%	69,22	1,35	6,8
Ctl-Psgl 4%	68,28	2,06	8,1
Ctl-Psgl 6%	66,36	1,43	10,6
Ctl-Psgl 8%	65,95	2,88	11,2

Komposit Poliester berpenguat serat *cantula* vf 40%, *compatibilizer Vinyl Silane 5 wt%* dan *filler* PSGL 0% memiliki kekuatan dampak 74,26 kJ/mm² Siswanto (2014) melalui laporan penelitian menyatakan bahwa komposit poliester penguat serat *cantula* dengan Vf 40% dengan *compatibilizer Silane 3-APE* memiliki kekuatan dampak 63,75 kJ/mm² (Siswanto, 2013). Jenis *compatibilizer* berpengaruh pada kualitas sifat mekanik komposit poliester resin berpenguat serat. *Compatibilizer Vinyl Silane* lebih relevan digunakan sebagai additif pada komposit poliester berpenguat serat daripada *compatibilizer Silane 3-APE*.

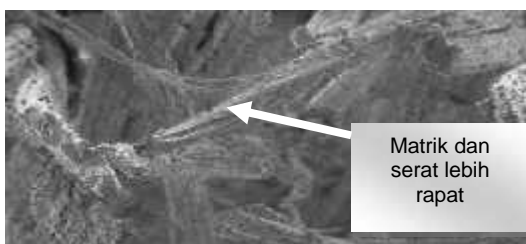
Prosentasi penurunan sifat dampak seiring dengan naiknya pengisi PSGL pada komposit. Sifat dampak terendah terjadi pada komposit dengan pengisi PSGL 8% yaitu 65,95 kJ/mm². Terjadi penurunan 11,2% dibanding dengan

komposit dengan pengisi PSGL 0% tanpa perlakuan perendaman. Grafik penurunan sifat kekuatan impact spesimen komposit dapat di lihat pada gambar 4 dibawah.

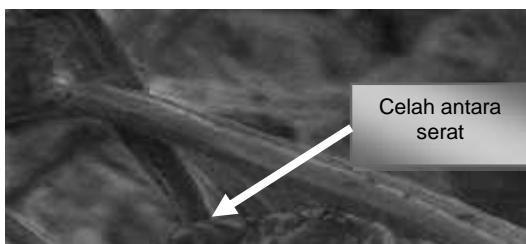


Gambar 4. Grafik pengujian kekuatan impact spesimen.

Foto SEM terhadap Permukaan patah spesimen ditunjukkan pada gambar 5 dibawah. Gambar 5a ditunjukkan permukaan patah yang lebih cerah, hal tersebut dikarenakan spesimen prosentasi filler PSGL 0%. Disamping itu matrik poliester dapat mengisi pada setiap permukaan serat sehingga menimbulkan ikatan antara matrik dan serat secara baik. Gambar 5b menunjukkan permukaan patah spesimen dengan prosentasi filler PSGL 8%. Permukaan patah yang di tunjukkan adalah lebih gelap. Hal tersebut di karenakan faktor pengisi Partikel Serbuk Genteng Limbah (PSGL) mempengaruhi warna permukaan. Filler PSGL juga mempengaruhi lambatnya laju aliran matrik poliester. Semakin tinggi prosentasi PSGL menyebabkan matrik tidak mengisi permukaan serat dan Permukaan PSGL, sehingga ikatan serat dan terhadap matrik poliester tidak kuat.



(a)

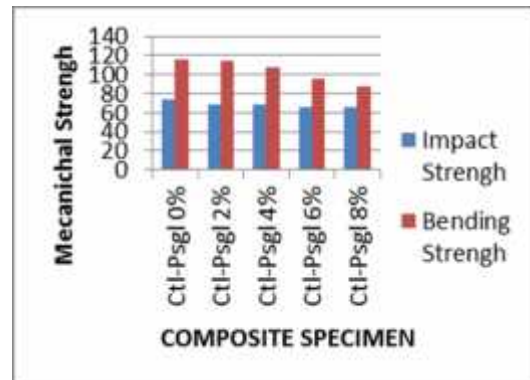


(b)

Gambar 5. Foto SEM Permukaan patah spesimen komposit uji impact pembesaran 500 kali.

- Spesimen dengan filler PSGL 0% tanpa perlakuan perendaman.
- Spesimen dengan filler PSGL 8% dengan perlakuan perendaman

Serat dalam spesimen komposit memberikan sifat ulet, morfologi permukaan patah diperlihatkan permukaan patah spesimen yang tidak rata, dan terdapat serat terputus. Perbandingan sifat mekanik spesimen antara kekuatan lentur dan kekuatan impact ditunjukkan pada gambar 6 dibawah.



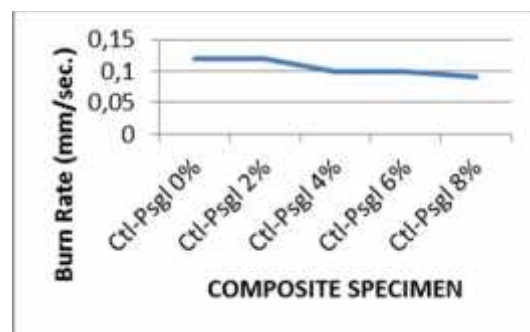
Gambar 6. Poligon Sifat mekanik Impact dan bending spesimen

3.5 Pengujian Laju Bakar komposit.

Spesimen komposit di uji terhadap sifat laju bakar dihasilkan data bahwa Prosentasi filler PSGL berpengaruh pada sifat laju bakar spesimen.

Tabel 4: Data pengujian Spesimen Laju Bakar.

Spesimen Komposit	Density (g/cm ³)	Burn Rate (mm/Sec)	Std Dev
Ctl-Psgl 0%	1,27	0,21	0,23
Ctl-Psgl 2%	1,31	0,13	0,12
Ctl-Psgl 4%	1,39	0,1	0,07
Ctl-Psgl 6%	1,44	0,11	0,09
Ctl-Psgl 8%	1,46	0,09	0,1



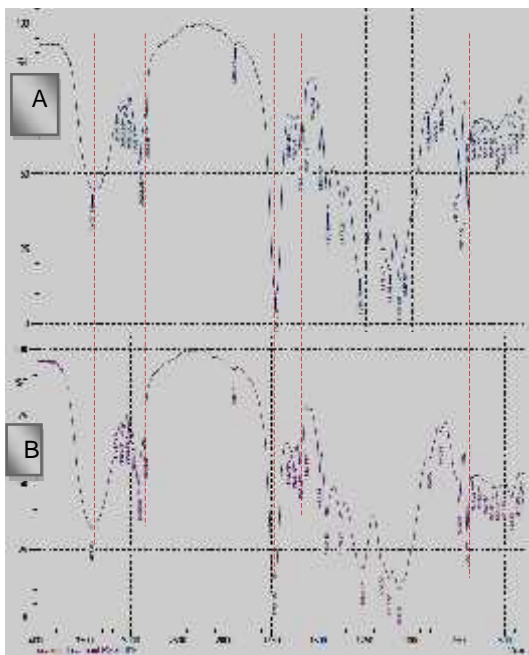
Gambar 6. Grafik pengujian spesimen laju bakar.

Peningkatan jumlah Prosentase pengisi PSGL pada komposit menurunkan sifat laju bakar komposit, sedangkan density komposit

meningkat seiring dengan penambahan pengisi PSGL. Standar Deviasi pengukuran Laju bakar spesimen memiliki besaran relatif kecil (1/100).

3.6 Karakteristik FTIR.

Gambar 7 menunjukkan karakteristik FTIR komposit poliester berpenguat hibride. Karakteristik FTIR komposit poliester PSGL 0% tanpa perlakuan (Gambar 7A) dengan komposit poliester PSGL 8% dengan perlakuan perendaman (Gambar 7B) menunjukkan karakter yang serupa. Filler PSGL tidak mempengaruhi karakter FTIR, menunjukkan tidak ada reaksi yang dihasilkan antara pengisi Partikel arang sekam padi (PSGL) dengan matriks polyester.



Gambar 7. Karakteristik FTIR komposit. A). Komposit filler PSGL 0% tanpa perlakuan. B). Komposit filler PSGL 8% dengan perlakuan.

Tabel 5. Karakterisasi FTIR Komposit spesimen. (Robert M. Silverstein, 2005)

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Keterangan senyawa
610-700	C-H	Alkynes Lead, Bending vibration to strong.
1000--1300	Esters	C-O Stretching Vibrations of esters.
1600	Vynil	Strong vibration
1732	Carbonyl	Strong Carbonyl Absorption
2922	CH	CH Aliphatic Stretching
3421	N-H	N-H Stretch hidrogen bonding

Ada tiga faktor yang mempengaruhi ikatan yakni: penjangkaran mekanik (mechanical anchoring), ikatan kimia antara serat alam dan resin dimana gugus hidroksil (-OH) pada rantai belakang resin (poliester tidak jenuh) menyediakan sebuah daerah untuk mengadakan ikatan hidrogen terhadap serat alam yang mengandung banyak gugus hidroksil dalam struktur kimianya dan gaya molekular atraktif. Gugus fungsi dan senyawa yang terjadi pada karakteristik FTIR komposit spesimen di tunjukkan pada tabel 5 diatas

4. Kesimpulan.

Panelitain tentang komposit poliester berpenguat serat cantula dan filler Partikel Serbuk Genteng Limbah (PSGL) disimpulkan sebagai berikut:

1. Campatibilizer Vynil silen dapat meningkatkan sifat mekanik komposit polimer berpenguat serat.
2. Penambahan filler PSGL pada komposit serat cantula mampu meningkatkan sfat ketahanan laju bakar komposit, tetapi sifat mekanik impak dan sifat lentur menjadi turun.
3. Karakteristik FTIR antara komposit poliester serat cantula dengan filler PSGL 0% tanpa perlakuan perendaman tidak mengalami perubahan apabila dibandingkan dengan komposit serat cantula dengan filler PSGL 8% dengan perlakuan perendaman selama 300 jam.

5. Daftar Pustaka.

- M. Abdelmouleh. 2006. Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites: Effect of silane coupling agents and fibres loading. *ELSEVIER*, September, 67(-), pp. 1627-1639.
- Mark C. Symington. 2009. Tensile Testing of Cellulose Based Natural Fibers for Structural Composite Applications. *SAGE Publications*, January, 43(-), pp. 1083-1108.
- Pujiatuti. 2010. Effect of Weathering On Functional Group And Mechanical Properties of Polypropylene-Kenaf Composites. *Indonesian Matreial Composites LIPI*, Februari, 11(-), pp. 123-128.
- Robert M. Silverstein. 2005. *Spectrometric Indentification of Ormagic*

Compounds. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Siswanto. 2013. *Pengaruh pemaparan cuaca terhadap perubahan sifat mekanik dan sifat thermal komposit High Density Polyethelene (HDPE)-serat cantula random*, Surakarta: Pascasarjana Teknik Mesin Universitas Sebelas maret Surakarta.

Soundararajah. 2005. Mechanical Properties of Poly(PolyVynil)MOnmorilonite Nanocomposit. *Journal Of Composite Material*, (-), pp. 303-311.