

**Analisa Sifat Mekanis
Komposit Epoksi/Partikel Silika dari Ekstraksi Sekam Padi
Bagian II: Pemodelan**

***The Study of Mechanical Properties of Epoxy/
Silica Particle Composite from Rice Husk Extraction
Part II: Modelling***

Mulyadi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia
Jalan Balai Desa Marindal No. 2, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, Indonesia 20361

*Corresponding author: mulyadi.tech007@gmail.com, mulyadi@upmi.ac.id

Diterima: 01-08-2022

Disetujui: 13-08-2022

Dipublikasikan: 15-08-2022

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Pengaruh silika dioksida terhadap sifat mekanis epoxy resin yang dimodifikasi diteliti dengan menggunakan pemodelan komputer. Komposit partikel ini diproduksi dari sistem resin Eposchon yang dimodifikasi dengan 0, 2, 4 and 5% massa silika. Perangkat lunak Salome Meca digunakan untuk memodelkan uji bending tiga titik. Hasil pemodelan kemudian divalidasi dengan hasil pengujian material di laboratorium. Hasil menunjukkan bahwa kekuatan lentur resin epoksi yang telah dimodifikasi meningkat sebesar 14% dengan kandungan partikel silika maksimum yaitu 4%. Sebaliknya, ketangguhan retak menurun seiring dengan pemasukan partikel silika kedalam sistem resin epoksi. Lebih jauh lagi, ketangguhan retak meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah partikel silika sampai 5%. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa silika dari sekam padi adalah pengisi potensial untuk material komposit polimer. Pemodelan komputer menunjukkan kesesuaian hasil tegangan lentur dan ketangguhan retak dengan hasil yang diperoleh dari pengujian laboratorium.

Kata Kunci: silika, epoksi, material komposit

Abstract

The influence of silica (silicon dioxide) on mechanical properties of modified epoxy resin were studied using computer modelling. Particulate composite was made of Eposchon resin system and modified with 0, 2, 4 and 5% of silica by weight. Salome Meca open source software is applied to model three point bend test. The results were validated by means of experimental outcomes. It was shown that that bending strength of modified epoxy resin was improved by 14% for the maximum with 4% of silica content. On the other hand, fracture toughness were decreased as silica particles introduce into the epoxy system. Furthermore, fracture toughness enhanced as the content of silica higher up to 5%. It is concluded that silica from rice husk is a potential filler for polymer composite materials.

Keywords: silica, epoxy, composite materials

1. Pendahuluan

Jumlah sekam padi yang berlimpah dan murah akibat tanah yang subur dengan hamparan padi yang sangat luas menjadikan Indonesia sebagai salah satu produsen padi terbesar di dunia. Kenaikan nilai ekonomi sekam padi tentunya dapat ditempuh dengan meningkatkan nilai tambah sekam tersebut. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan metode pirolisis untuk melakukan ekstraksi silika (*silicon dioxide*) dari sekam padi. Metode ini dinilai relative murah dan memiliki produktifitas yang tinggi yaitu sebesar 64,5% [Prima dkk 2018]. Lebih jauh lagi, berdasarkan perkembangan teknologi material yang demikian canggih maka silika yang dihasilkan mampu untuk diolah menjadi mikro partikel dan nano partikel yang diketahui memiliki kemampuan untuk meningkatkan sifat mekanis polimer menjadi lebih baik. Peningkatan sifat mekanis tersebut dapat diwujudkan dengan menjadikan partikel silika sebagai bahan pengisi material polimer sehingga akan terbentuk material baru yang disebut bahan komposit.

Penelitian tentang pengaruh kandungan partikel silika terhadap sifat mekanis material komposit polimer telah banyak dilakukan baik secara analisa numerik (pemodelan) dengan menggunakan metode elemen hingga maupun secara eksperimental atau gabungan keduanya. Pemodelan menggunakan perangkat komputer memiliki keunggulan tersendiri yaitu hemat dari sisi biaya dan dapat mempersingkat lamanya waktu untuk mempersiapkan suatu material yang masih dalam tahap uji coba sampai siap untuk dipasarkan.

Kandungan nanosilika sebesar 5% kedalam resin epikote 828 mampu meningkatkan modulus elastisitas sebesar 40%. Hasil pemodelan dan eksperimental memperlihatkan korelasi yang sangat baik [Mulyadi dkk 2012]. Ketangguhan retak dan kekuatan bengkok tiga titik juga memperlihatkan peningkatan yang signifikan pada resin epoksi. Terjadi kenaikan sebesar 14% dengan penambahan silika yang diekstrak dari sekam padi sebesar 4%, namun demikian penurunan ketangguhan retak terjadi ketika silika ditambahkan pada resin epoksi. Tetapi kenaikan ketangguhan retak terlihat seiring dengan bertambahnya kandungan silika pada resin epoksi sampai dengan 5% sesuai dengan batasan pada penelitian tersebut [Mulyadi 2019]. Peningkatan ketangguhan retak juga terjadi dengan penambahan nanosilika pada material komposit epoksi yang diperkuat serat karbon [Jumahat dkk 2012].

Kekuatan tarik, kekakuan dan kekuatan mulur juga mengalami peningkatan pada sistem resin epoksi yang dimodifikasi dengan nanosilika. Hasil ini telah dibuktikan baik secara eksperimental maupun secara pemodelan dengan korelasi hasil yang sangat baik [Boutaleb dkk 2008]. Penelitian tersebut diatas menggunakan partikel silika maupun nanosilika yang telah diproduksi oleh perusahaan pembuat material dengan teknologi tinggi. Sedangkan pada studi ini digunakan partikel silika yang diekstrak dari sekam padi local dengan metode pirolisis. Adapun tujuan riset ini adalah untuk mengetahui perilaku lentur dan ketangguhan retak komposit epoksi yang dimodifikasi dengan partikel silika dari sekam padi.

Kekuatan bengkok tiga titik spesimen uji komposit pada bagian tengah benda uji dihitung berdasarkan rumus [ASTM D790]:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

Dimana:

σ_f = tegangan bengkok di permukaan terluar pada bagian tengah spesimen, MPa
 P = beban yang diberikan pada titik acuan untuk kurva beban-defleksi, N
 L = jarak antar tumpuan, mm

- b = lebar spesimen uji, mm, dan
 d = tebal/kedalaman spesimen uji, mm.

Modulus elastisitas material dapat ditentukan dengan ekspresi sebagai berikut [ASTM D5045]:

$$E = \frac{L^3 m}{4I} \quad (2)$$

Dimana:

- E = modulus elastisitas (MPa)
 m = slope kurva linier awal beban- defleksi(mm)
 L = panjang spesimen (mm)
 I = momen inersia penampang (mm⁴)

Sedangkan untuk ketangguhan retak spesimen uji bengkok takikan sisi tunggal dengan metode uji bengkok tiga titik dihitung dengan rumus [3] sebagai berikut:

$$K_{IC} = \frac{6P}{B} (a/w)^{1/2} Y \quad \left(MPa \cdot m^{\frac{1}{2}} \right) \quad (3)$$

Dimana:

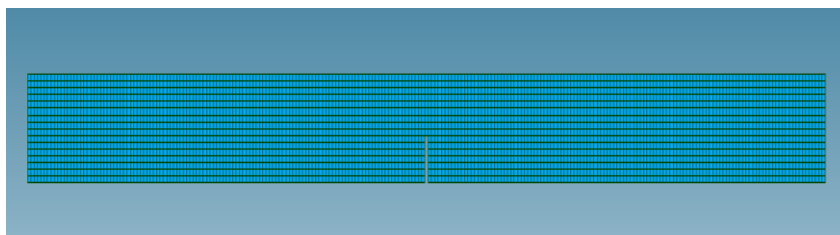
$$Y = \frac{1,99 - \frac{a}{W} (1 - \frac{a}{W}) (2,15 - \frac{3,93a}{w} + 2,7 (\frac{a}{W})^2)}{(1 + \frac{2a}{W}) (1 - \frac{a}{W})^{3/2}} \quad (4)$$

Dimana:

- P = Beban (kN)
 B = $W/2$ = Lebar spesimen (cm)
 W = Tebal spesimen (cm)
 a = panjang retak awal (cm).

2. Teknik Pemodelan

Resin epoksi yang digunakan yaitu *Eposchon A&B* dimana ukuran spesimen dan metode uji didasarkan pada standar ASTM D790 dan ASTM D5045 sesuai urutan uji diatas. Ukuran spesimen uji bending tiga titik yang digunakan adalah panjang 80 mm, lebar 4 mm dan kedalaman (tebal) 4 mm. Sedangkan untuk uji ketangguhan retak, dimensi spesimen yaitu panjang 80 mm, lebar 4 mm dan kedalaman yaitu sebesar 8 mm. Panjang retak awal, a yaitu sebesar 4,5 mm.



Gambar 1. Pemodelan uji bengkok tiga titik

Data modulus elastisitas epoksi yang telah dimodifikasi dengan partikel nano silika diambil dari penelitian sebelumnya (Mulyadi dkk 2012). Perangkat lunak yang digunakan untuk memodelkan tegangan lentur dan ketangguhan retak yaitu Salome-Meca yang merupakan aplikasi metode elemen hingga dengan akses terbuka. Pemodelan ini merupakan pemodelan tiga dimensi.

3. Hasil dan Pembahasan

Modifikasi resin epoksi menggunakan silika dari sekam padi menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan terhadap sifat-sifat lentur. Kekuatan lentur meningkat seiring dengan bertambahnya kandungan silika didalam polimer epoksi. Terjadi peningkatan kekuatan lentur sebesar 14,3% pada epoksi yang dimodifikasi dengan 4% massa silika. Namun demikian, untuk kandungan silika sebesar 5%, terjadi penurunan kekuatan lentur jika dibandingkan dengan kandungan silika 4% seperti yang ditunjukkan pada table 1. Angka kekuatan lentur dengan silika 5% lebih rendah jika dibandingkan dengan material polimer epoksi murni.

Kecenderungan yang sama juga ditunjukkan oleh nilai modulus elastisitas lentur dari hasil uji lentur yang telah dilaksanakan. Peningkatan nilai modulus elastisitas adalah sebesar 50% dari 2,96 GPa untuk epoksi murni menjadi 4,44 GPa untuk epoksi yang telah dimodifikasi dengan 4% partikel silika. Akan tetapi terjadi penurunan nilai modulus pada kandungan silika sebesar 5% yaitu jika dibandingkan dengan kandungan silika 4% dari 4,44 GPa menjadi 3,73 GPa. Walaupun demikian, nilai modulus pada kandungan silika 5% masih lebih tinggi jika dibandingkan nilai modulus yang diperoleh pada polimer epoksi murni.

Hasil pemodelan menunjukkan kecenderungan yang sama dengan hasil yang diperoleh melalui eksperimen. Tingkat penyimpangan hasil pemodelan dan eksperimen berkisar antara 4% sampai dengan 6%. Ini menunjukkan bahwa pemodelan yang dilakukan dapat divalidasi dengan baik melalui hasil eksperimen.

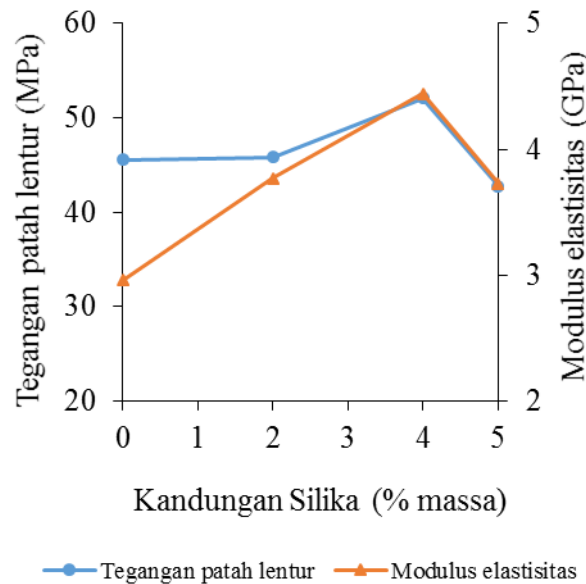
Hasil pengujian lentur secara umum menunjukkan bahwa sifat-sifat mekanis lentur epoksi yang dimodifikasi dengan silika dari sekam padi memperlihatkan peningkatan yang signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa silika mampu memberikan penguatan terhadap epoksi.

Tabel 1. Hasil Pengujian lentur

No	% SiO ₂	σ_{fM} (MPa)		E (Gpa)
		Eksperimen	Pemodelan	
1	0	45,55	43,22	2,96
2	2	45,85	44,01	3,77
3	4	52,05	51,98	4,44
4	5	42,74	43,96	3,73

Ket: σ_{fM} = Tegangan patah bending

Gambar 1 menunjukkan respon pengujian lentur material epoksi yang dimodifikasi dengan berbagai kandungan silika yaitu 2, 4 dan 5% terhadap massa. Hasil memperlihatkan bahwa antara nilai tegangan patah lentur dan modulus elastisitas memiliki korelasi yang sesuai berdasarkan tren grafik yang terbentuk. Dimana, kenaikan tegangan patah lentur juga diikuti dengan kenaikan harga modulus elastisitas. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka akan semakin tinggi resistensi suatu material untuk mengalami bengkok atau lentur yang akhirnya akan menyebabkan naiknya tegangan patah lentur material tersebut. Hal ini juga terbukti pada penelitian yang telah dilakukan ini.

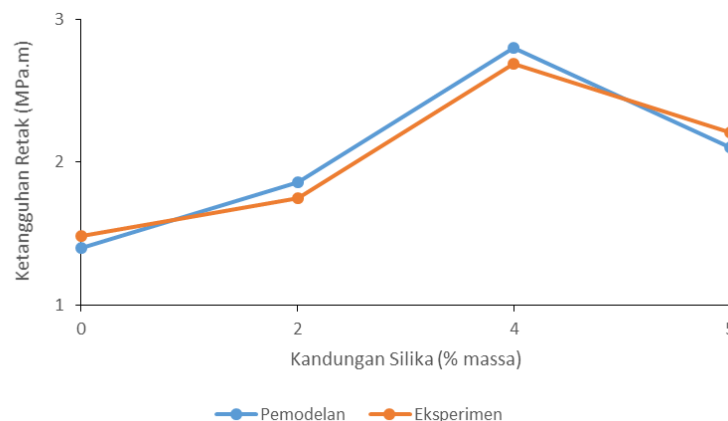


Gambar 2. Respon pengujian lentur polimer epoksi yang dimodifikasi dengan kandungan silika yang bervariasi

Pengaruh positif kandungan silika terhadap respon uji lentur resin epoksi makin diperkuat dengan hasil uji ketangguhan retak ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Hasil pengujian ketangguhan retak

No	% SiO ₂	K_{IC} (MPa . m ^{1/2})	
		Pemodelan	Eksperimen
1	0	1,4	1,48
2	2	1,86	1,75
3	4	2,80	2,69
4	5	2,10	2,21



Gambar 3. Respon pengujian ketangguhan retak resin epoksi yang dimodifikasi dengan berbagai kandungan partikel silika

Nilai ketangguhan retak dengan jelas diperlihatkan mengaami kenaikan seiring dengan bertambahnya kandungan silika didalam resin epoksi. Terdapat kenaikan nilai ketangguhan retak yang sangat signifikan yaitu sebesar 81% pada kandungan silika sebesar 4% terhadap massa jika dibandingkan dengan nilai ketangguhan retak resin epoksi murni. Namun demikian,

kandungan silika yang melebihi 5% terhadap massa akan menurunkan nilai ketangguhan retak resin epoksi walaupun masih lebih tinggi dari nilai ketangguhan retak epoksi murni. Hal ini dapat saja terjadi karena penyebaran partikel silika yang tidak merata didalam resin epoksi pada saat pengadukan akibat kandungan silika yang makin tinggi. Pada beberapa bagian dapat terjadi aglomerasi (penggumpalan) atau sebaliknya kekosongan partikel silika dan hal ini tentu saja dapat mengurangi sifat mekanis dari komposit epoksi/silika.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa silika dari sekam padi adalah pengisi potensial untuk material komposit polimer. Pemodelan komputer menunjukkan kesesuaian hasil tegangan lentur dan ketangguhan retak dengan hasil yang diperoleh dari pengujian laboratorium.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Yayasan Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia dan Pimpinan UPMI yang telah memberikan dukungan dan bantuan atas pembuatan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Prima, H., Hidayat, T., Mulyadi. 2018. "Ekstraksi Silikon dioksida dari sekam padi dengan metode pirolisis." J. Ilm. Mek. Tek. Mesin ITM. 4 100–104.
- Mulyadi, I. Gitman, C. Pinna, C. Soutis. 2014. "Modelling Interaction Effect of Nanosilica Particles on Nanosilica / Epoxy Composite Stiffness.", in: 16 Th Eur. Conf. Compos. Mater., Seville: pp. 22–26. <http://www.escm.eu.org/eccm16/assets/0743.pdf>.
- Mulyadi." Analisa Sifat Mekanis Komposit Epoksi / Partikel Silika Dari Ekstraksi Sekam Padi Bagian I : Eksperimental". 5 (2019) 50–56. <https://jurnal.mesin.itm.ac.id/index.php/jm/article/view/87/76>.
- A. Jumahat, C. Soutis, S.A. Abdullah, S. Kasolang. 2012. "Tensile Properties of Nanosilica/Epoxy Nanocomposites". Procedia Eng. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.361>.
- S. Boutaleb, F. Zaïri, A. Mesbah, M. Naït-Abdelaziz, J.M. Gloaguen, T. Boukharouba, J.M. Lefebvre. 2009. "Micromechanics-based modelling of stiffness and yield stress for silica/polymer nanocomposites." Int. J. Solids Struct. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2008.12.011>.
- ASTM D790, in: ASTM Vol. 08.01 Plast. C1147 - D3159, 2018.
- ASTM D5045, in: ASTM Vol. 08.02 Plast. D3222–D5083, 2018.