

PENGARUH SUHU PENCAMPURAN TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN FRACTURE TOUGHNESS EPOXY RESIN - ORGANOCLAY MONTMORILLONITE NANOKOMPOSIT

Dhidhit Wahyu Widyatmaja¹, Wijang Wisnu Raharjo², Heru Sukanto²

¹Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

*Epoxy-montmorillonite composite
Tensile strength
Fracture toughness*

Abstract :

This research aimed to determine the effect of mixing temperature on the mechanical characteristics epoxy resin - organoclay montmorillonite nanocomposite form of tensile strength and fracture toughness.

Composites made from nanomer I.30E, bisphenol A epoxy resin and curing agent versamide 140 with heat mixing method with variations in temperature 60 ° C, 80 ° C, 100 ° C, 120 ° C, 140 ° C. Mixing process is carried out for 3 hours at a speed of 350 rpm with 2% of the volume fraction of montmorillonite. Tensile strength refers to the ASTM D 638 while the fracture toughness testing refers to ASTM D 5045. Observations on the fracture surface of the composite cross section is done using SEM (Scanning Electron Microscopy).

The results of this study are as follows: (1) increase in temperature from 60 ° C mixing to 100 ° C will raise the mechanical strength of the composite, (2) tensile strength increased by 7.21% fracture toughness increased by 50%, (3) after the temperature reaches 120 ° C mechanical strength began to drop because the secondary bond is lost and because of the void, (4) down 2.58% tensile strength and fracture toughness down by 23.33%.

PENDAHULUAN

Tuntutan membuat segala sesuatu menjadi ringan dan kuat adalah hal yang wajar di era teknologi seperti saat ini. Misalnya, tuntutan menghasilkan mobil atau pesawat berbobot ringan. Hal ini mendorong produsen komponen mencari material baru yang lebih ringan dari logam, tapi memiliki kekuatan lebih baik. Dan, material komposit dipandang sebagai alternatif pengganti material logam karena bobotnya sangat ringan tapi superkuat.

Partikel yang berukuran nano mempunyai luas permukaan interaksi yang cukup tinggi. Makin banyak partikel yang berinteraksi ikatan antar partikel makin kuat, sehingga sifat mekanik materialnya bertambah. Peningkatan kekuatan mekanik material terjadi akibat penambahan nanopartikel OMMT (*Organoclay Montmorillonite*) pada *epoxy resin*. Permukaan nanopartikel yang sangat luas berinteraksi dengan rantai polimer, sehingga mereduksi mobilitas rantai polimer. Namun penambahan nanopartikel tidak selamanya akan meningkatkan sifat mekaniknya. Ada batas tertentu dimana saat dilakukan penambahan, kekuatan material justru semakin berkurang.

Pemilihan *epoxy resin* pada penelitian ini disebabkan kekuatan dan kekakuannya relatif lebih besar dibandingkan dengan polimer jenis lainnya. Selain itu *epoxy resin* mempunyai penyusutan yang kecil dibandingkan dengan polimer lain. Namun

pada keadaan padatnya, *epoxy resin* biasanya bersifat *brittle* dan tidak resistan terhadap keretakan, namun jika dikombinasikan dengan *nanoclay*, maka sifat mekaniknya menjadi lebih baik.

Material penguat yang berukuran nanometer seperti *clay* merupakan material yang bisa berfungsi sebagai penguat antara campuran polimer yang tidak saling melarutkan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Feng dkk pada tahun 2004. Penambahan unsur *clay* jenis nanomer lebih mudah terdispersi dalam resin dan bahan ini menawarkan perbaikan sifat mekanis yang lebih baik dibanding sebelum diberi tambahan partikel nano. Karabulut (2003) meneliti tentang pengaruh kadar montmorillonite terhadap karakteristik mekanik nanokomposit. Dari penelitian tersebut dihasilkan nanokomposit dengan karakteristik mekanik yang paling optimum pada penambahan MMT 2% wt.

Banyak faktor yang mempengaruhi pembuatan nanokomposit, diantaranya perbandingan komposisi antara matrik polimer dengan komposit (*clay*) dan perlakuan selama proses pembuatan yang salah satunya adalah suhu pengadukan saat proses *mixing clay* dan polimer. Jika suhu terlalu rendah, maka tingkat kekentalan resin sedikit lebih tinggi sehingga partikel *clay* tidak akan terdispersi secara merata dalam polimer. Akibatnya akan berpengaruh terhadap kekuatan dari komposit tersebut yang semakin menurun. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan proses yang tepat agar

didapatkan komposit dengan kualitas mekanik terbaik.

PERUMUSAN MASALAH

Penelitian nanokomposit Epoxy-*Organoclay Montmorillonite (OMMT)* berfokus pada pengaruh variasi suhu pengadukan saat proses pencampuran terhadap karakteristik nanokomposit.

Adapun sifat sifat yang ingin diketahui adalah

1. Sifat mekanik (kekuatan tarik dan *fracture toughness*)
2. Morfologi berdasar SEM

BATASAN MASALAH

Penelitian ini akan menggunakan beberapa batasan masalah untuk memfokuskan hasil dan formula yang dituju. Adapun batasan-batasan tersebut adalah :

1. Kecepatan putaran pengaduk pada setiap variasi suhu dianggap konstan.
2. Suhu pencampuran pada setiap variasi dianggap konstan.

TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik nanokomposit Epoxy-*Organoclay Montmorillonite (OMMT)* berupa:

1. Kekuatan tarik
2. *Fracture toughness*

TINJAUAN PUSTAKA

Polimer adalah suatu bahan rekayasa bukan logam (*non-metallic material*). Polimer biasa digunakan untuk menggambarkan bentuk molekul raksasa atau rantai yang sangat panjang yang terdiri atas unit-unit terkecil yang berulang-ulang atau mer atau meros sebagai blok penyusunnya. Saat ini bahan polimer telah banyak digunakan sebagai bahan substitusi untuk logam terutama karena sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi dan kimia serta murah, khususnya untuk aplikasi-aplikasi pada temperatur rendah. Hal lain yang banyak menjadi pertimbangan adalah daya hantar litrik dan panas yang rendah, kemampuan untuk meredam kebisingan, warna dan tingkat transparansi yang bervariasi, kesesuaian desain dan manufaktur.

Berdasarkan perilaku mekanik dan struktur rantai atau molekulnya, polimer dikelompokkan menjadi *thermoplastik*, *thermoset*, dan *elastomer*. Epoksi resin termasuk dalam polimer *thermoset*, yaitu polimer yang tidak larut dalam pelarut apapun, tidak meleleh jika dipanaskan, lebih tahan terhadap asam dan basa, jika dipanaskan akan rusak dan tidak dapat kembali seperti semula, dan struktur molekulnya mempunyai ikatan silang antar rantai. Polimer seperti ini disusun secara permanen dalam bentuk pertama kali mereka dicetak. Ikatan antar polimer termoset dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu ikatan primer dan ikatan sekunder. Ikatan primer dari suatu polimer adalah ikatan kovalen,

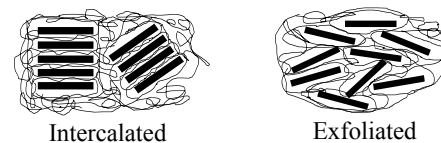
yaitu ikatan antar atom dengan cara memakai elektron secara bersama-sama. Ikatan sekunder yang penting di dalam polimer adalah ikatan Van der Waals. Ikatan primer kovalen termasuk ikatan antar atom yang sangat kuat, jauh lebih kuat dibandingkan dengan ikatan sekunder, 10 hingga 100 kalinya (Saptono, 2008).



Gambar 1. Struktur Intermolekular Thermoset

Polymer/*clay* nanokomposit merupakan kelas baru dari material komposit dimana *clay* yang tersusun atas lapisan silikat berukuran nanometer terdispersi/tersebar acak pada matrik polimer. Penyebaran *clay* berukuran nanometer mengakibatkan nanokomposit menunjukkan sifat yang lebih unggul dibandingkan komposit yang diperkuat serat. Dengan penambahan *clay* yang sangat sedikit yaitu kurang dari 5% berat ke dalam matrik polimer, dapat meningkatkan kekuatan komposit tersebut.

Tingkat penetrasi polimer jika dilihat dari *intergallery* silikat, ada dua jenis mikrostruktur ideal di *nanocomposite* yaitu *intercalated* dan *exfoliated*. *Nanocomposite* tipe *intercalated* terbentuk ketika satu atau beberapa lapisan molekul polimer masuk ke dalam *interlayer clay*. Sedangkan *nanocomposites* tipe *exfoliated* terbentuk ketika *nanolayer* silikat terdelaminasi oleh rantai polimer dan terdispersi secara homogen ke dalam matrik polimer.



Gambar 2. Penetrasi polimer ke dalam silikat (Dubois dkk, 2006).

Penelitian tentang Rekayasa Pengaturan Epoxy Resin - *Organoclay Montmorillonite* untuk mendapatkan nanokomposit dengan karakteristik struktur mikro dan sifat mekanis kualitas tinggi yang dilakukan oleh Ariawan dkk pada tahun 2011, memvariasikan penambahan kadar *Montmorillonite* 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% dalam fraksi berat dan pengaruh komposisi resin : hardener terhadap karakteristik nanokomposit. Dari penelitian tersebut dihasilkan nanokomposit dengan karakteristik mekanik yang paling optimum pada penambahan MMT 2% dan komposisi resin : hardener yaitu 60:40.

Penambahan MMT 2% fraksi berat dapat meningkatkan modulus elastisitas dari epoxy secara optimal. Penelitian Yasmin dkk (2006) dengan menggunakan montmorillonite dan epoxy untuk membuat nanokomposit, dimana pada penelitian ini digunakan montmorillonite jenis nanomer I.28E. Dari pengamatan *Scanning Electron Microscope (SEM)*

diperoleh data bahwa permukaan patah dari nanokomposit ini sangat kasar, sehingga diperkirakan memiliki *interfacial strength* yang tinggi jika digabungkan dengan serat-serat penguat komposit.

Suhu pengadukan (pencampuran) *Epoxy Resin - Organoclay Montmorillonite* berpengaruh terhadap karakteristik mekanik nanokomposit, seperti penelitian yang dilakukan oleh Wei pada tahun 2010 dengan tiga parameter suhu (150 °C, 180 °C, dan 200 °C) selama 2 jam. Suhu pengadukan 200 °C selama 2 jam menghasilkan penyebaran *clay* yang paling merata sehingga komposit memiliki kekuatan tarik dan *impact* lebih baik. Uribe pada tahun 2010 meneliti dengan variasi suhu 180 °C dan 200 °C, dari variasi tersebut didapatkan pada suhu 200 °C memiliki karakteristik mekanik yang lebih baik dibandingkan pada suhu 180 °C. Cole pada tahun 2009 juga melakukan penelitian dengan parameter suhu 60 °C, 120 °C, dan 180 °C, pencampuran *epoxy - organoclay* pada suhu 180 °C menghasilkan kekuatan *impact* dan tarik tertinggi dibanding suhu 60 °C dan 120 °C.

METODE PENELITIAN

1. Langkah Kerja Penelitian

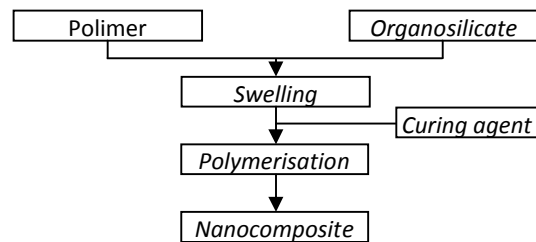


Diagram alir pembentukan matrik nanokomposit pada polimerisasi *in situ* (Vineeta Nigam dkk, 2004)

2. Pengeringan Organoclay Montmorillonite

Sebelum dituang dan dicampur bersama resin, OMMT dikeringkan terlebih dahulu menggunakan oven suhu rendah dengan suhu pemanasan 120°C selama 4 jam. Tujuan dilakukannya pengeringan tersebut untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam serbuk montmorillonite sehingga tidak menggumpal dan mempermudah penyebarannya. (Karabulut, 2003).

3. Pembuatan cetakan

Untuk membuat spesimen uji tarik dan *fracture toughness*, dibuat cetakan dari bahan silikon *rubber*. Hal tersebut bertujuan untuk memudahkan proses pelepasan spesimen setelah kering dan menekan biaya pembuatan cetakan, karena cetakan tersebut selain sifatnya yang lentur dan tidak lengket juga dapat digunakan berulang-ulang.

4. Proseses Mixing

Proses pencampuran *Epoxy-Montmorillonite* dilakukan pada kecepatan yang diatur konstan 350 rpm selama 3 jam, setelah itu hardener dituang ke dalam campuran tersebut dan diaduk kembali selama 5 menit.

5. Pengecekan kehomogenan campuran

Campuran dituang ke dalam tabung yang telah dihitung volumenya, kemudian ditimbang. Proses tersebut dilakukan hingga 5 sampel, kemudian masing-masing sampel dihitung densitasnya. Jika standar deviasi hasil densitas dari sampel tidak lebih dari 10% maka campuran masuk dalam kategori homogen (Konijnenberg, 1995).

6. Pencetakan spesimen

Campuran resin/MMT/hardener dituang dalam cetakan yang telah didesain sesuai dengan ASTM uji tarik dan *fracture toughness*. Setelah penuangan selesai cetakan yang berisi campuran bahan komposit dimasukan ke dalam desicator vacuum untuk menghilangkan *void* di dalam komposit.

7. Post Curing

Spesimen dilakukan *post curing* sebelum pengujian untuk mengoptimalkan *crosslinking* pada ikatan polimer dan *montmorillonite*. *Post curing* dilakukan pada suhu 100°C selama 100 menit.

8. Tahap pengujian

Pengujian spesimen yang dilakukan meliputi pengujian kekuatan tarik dan pengujian *Fracture Toughness* (pengujian terhadap ketahanan retak).

a. Pengujian kekuatan tarik

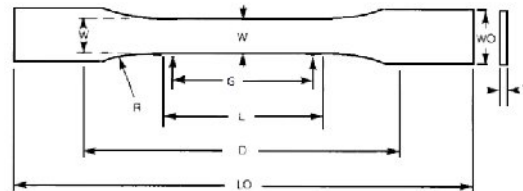
Pengujian tarik menggunakan standar ASTM D638 tipe 1 dengan mesin *Universal Testing Machine* Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta pada temperatur kamar dengan kecepatan 50 mm/menit. Dari pengujian ini akan diperoleh nilai kekuatan tarik dari komposit *Epoxy-Montmorillonite*.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dimana: σ = Tegangan tarik (Mpa)

F = Beban tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)



Gambar 3. Dimensi spesimen uji tarik.

Dimana:

W = Width of narrow section = 13 mm

L = Length of narrow section = 57 mm

WO = Width overall = 19 mm

LO = Length overall = 165 mm

G = Gage length = 50 mm

D = Distance between grips = 115 mm

R = Radius of fillet = 76 mm

T = Thickness = 4,50 mm

b. Pengujian *Fracture Toughness*

Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D5045. Pengujian *Fracture Toughness* yang dilakukan pada penelitian tersebut menggunakan spesimen jenis *Single-Edge-Notch-Bending* (SEN-B)

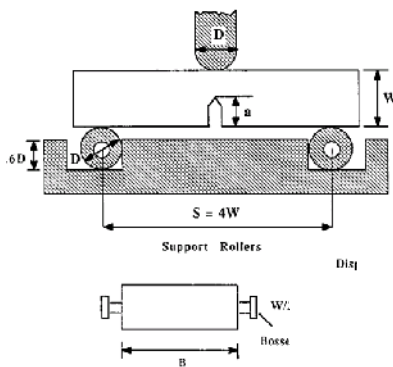
dimana *notch* akan dibuat menggunakan gergaji dengan kedalaman 2mm dan ketebalan mata gergaji 1mm, dilanjutkan dengan pisau *cutter* dengan kedalaman pemotongan 1mm sehingga total *notch* (takik) 3mm dari permukaan. Spesimen SEN-B diuji menggunakan mesin *universal testing machine* yang diatur dengan kecepatan 10 mm/menit. Dari hasil respon beban pertambahan panjang (F-Δl) dapat dihitung *Fracture Toughness* seperti rumus berikut:

$$\text{Fracture Toughness} = \frac{F_{max}}{B \cdot W} \sqrt{a} \cdot f(a/w) \quad (1)$$

MPa. \sqrt{m}

Dimana,

- F_{max} = gaya maksimum hasil F-Δl
- B = ketebalan spesimen
- W = lebar spesimen
- a = panjang total notch (dibuat dengan gergaji dan pisau *cutter*)
- f(a/w) = faktor koreksi geometri
- = $1.99 - 0.41(a/w) + 18.7(a/w)^2 - 38.48(a/w)^3 + 53.85(a/w)^4$



W : Lebar spesimen
 B : Tebal spesimen

Gambar 4. Skema pengujian dan spesifikasi spesimen uji *fracture*.

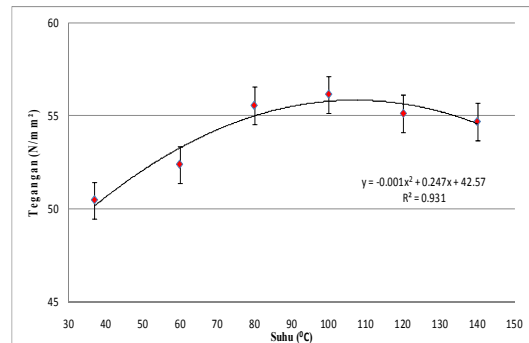
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu pencampuran terhadap kekuatan tarik dan *fracture toughness epoxy resin - organoclay montmorillonite* nanokomposit.

1. Pengaruh Suhu Pencampuran Terhadap Kekuatan Tarik

Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara suhu pencampuran dan nilai kekuatan tarik *epoxy resin - organoclay montmorillonite* nanokomposit, nilai kekuatan tarik dari suhu 60 °C terus meningkat hingga mencapai suhu 100 °C. Besarnya nilai peningkatan kekuatan mekanik tersebut adalah 7,21%. Jika dibandingkan dengan pengujian mekanik tanpa perlakuan suhu yang memiliki nilai tegangan rata-rata 50,44 MPa, hasil pengujian tertinggi yaitu pada variasi suhu 100°C dengan rata-

rata 56,14 MPa naik sebesar 11,30%. Meskipun demikian, kenaikan nilai mekanik terhadap perubahan suhu tidaklah signifikan atau tidak begitu berpengaruh.



Gambar 5. Pengaruh variasi suhu pencampuran terhadap kekuatan tarik komposit epoxy-MMT.

Tabel 1. Nilai Uji Tarik Nanokomposit 0% MMT Suhu Kamar

No.	Putaran Mixing	A (mm²)	F (N)	Tegangan (MPa)	ST. DEV
1	350 Rpm	56,59	2849	50,34	7,52
2	350 Rpm	56,32	2844	50,50	
3	350 Rpm	55,88	2818	50,43	
4	350 Rpm	56,10	2837	50,57	
5	350 Rpm	55,88	2818	50,43	
6	350 Rpm	61,38	3092	50,37	
Rata-rata				50,44	

Peningkatan nilai mekanik ini disebabkan bertambahnya suhu pencampuran yang dilakukan dalam penelitian maka tingkat kekentalan dari resin justru menurun. Semakin encer resin tersebut akan mempermudah pergerakan *clay* sehingga tingkat penyebarannya dalam resin juga akan semakin merata. Di samping itu, seiring bertambahnya suhu pada saat pencampuran *epoxy-MMT* struktur dari *clay* semakin terbuka sehingga memudahkan resin untuk masuk kedalamnya. Karabulut (2003), partikel *clay* yang tersebar merata didalam matrik akan memperbesar bidang kontak antara keduanya, sehingga dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari komposit.

Tabel 2. Pengaruh suhu terhadap kehomogenan campuran

Variasi Suhu	60 ^o	80 ^o	100 ^o	120 ^o	140 ^o
Densitas Teoritis (g/cm³)	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Densitas Campuran (g/cm³)	1,10	1,12	1,13	1,09	1,09
Standar Deviasi (%)	10,74	7,70	5,505	5,80	6,25

Data tabel 2. memperlihatkan bahwa hampir semua variasi suhu masuk dalam kategori homogen, seperti penelitian yang dilakukan oleh [Konijnenberg](#) pada tahun 1995 yaitu jika standar deviasi hasil

densitas dari sampel tidak lebih dari 10% maka campuran masuk dalam kategori homogen. Hanya pada suhu 60 °C saja yang tidak homogen, tapi mendekati homogen dengan nilai Standar Deviasi sebesar 10,74%. Hal ini disebabkan karena pada suhu tersebut viskositas resin lebih tinggi dibanding suhu yang lain, jadi penyebaran *clay* saat pengadukan kurang merata.

Standar Deviasi terendah terdapat pada variasi suhu 100 °C dengan nilai 5,50%. Sesuai dengan hasil pengujian yang ditunjukkan pada gambar 4.1. bahwa pada suhu 100 °C memiliki nilai pengujian mekanik terbaik. Semakin tinggi suhu pencampuran viskositas resin menurun sehingga mempermudah pergerakan dan penyebaran *clay* untuk merata (homogen), akibatnya nilai mekanik juga meningkat.

Secara teori, nilai kekuatan mekanik akan terus naik seiring dengan bertambahnya suhu pada saat pencampuran resin dengan MMT hingga pada suhu tertentu akan terjadi penurunan. Pada penelitian ini, penurunan nilai mekanik terjadi pada suhu pencampuran 120 dan 140 °C, masing-masing 1,83% dan 0,76% sehingga total penurunan nilai mekanik dari suhu 100 °C ke suhu 140 °C sebesar 2,58%. Hal ini disebabkan karena resin memiliki batas kemampuan untuk dapat digunakan dengan baik dan bekerja secara maksimal, apabila melebihi batas tersebut yang terjadi resin akan rusak dan nilai pengujian mekanik justru menurun atau lebih sering disebut dengan istilah *heat distortion temperature*. Fenomena yang terjadi adalah, resin epoksi merupakan polimer *thermoset* dimana terdapat ikatan primer dan ikatan sekunder. Pada polimer termoset berlaku Hukum Van Der Waals yang mengakibatkan turunnya nilai mekanik, yaitu pada suhu 120^o ikatan sekunder dari polimer putus akan tetapi ikatan primernya masih tersusun. Karena ikatan primer kovalen termasuk ikatan antar atom yang sangat kuat jauh lebih kuat dibandingkan dengan ikatan sekunder 10 hingga 100 kalinya (Saptono, 2008), maka dia sanggup menahan beban yang cukup tinggi meskipun ikatan sekunder telah terputus. Sehingga penurunan nilai mekaniknya tidak begitu signifikan.

Gambar 4 memperlihatkan hubungan antara suhu pencampuran dan nilai kekuatan tarik dari *epoxy resin - organoclay montmorillonite* nanokomposit yang dilakukan dengan 5 variasi suhu berbeda. Seperti terlihat pada grafik di atas, nilai kekuatan tarik dari suhu 60 °C ke suhu 80 °C mengalami peningkatan sebesar 6,11% dan suhu 80 °C ke suhu 100 °C meningkat 1,04%. Total kenaikan nilai mekanik dari suhu 60 °C sampai dengan 100 °C adalah sebesar 7,15%.

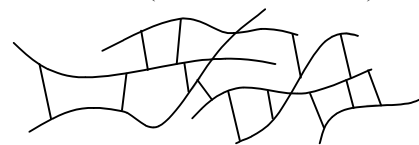
Peningkatan nilai mekanik ini disebabkan karena, dengan bertambahnya suhu pencampuran yang dilakukan dalam penelitian maka tingkat kekentalan dari resin justru menurun. Semakin encer resin tersebut akan mempermudah pergerakan *clay* sehingga tingkat penyebarannya dalam resin juga akan semakin merata. Di samping itu, seiring

bertambahnya suhu pada saat pencampuran *epoxy-MMT* struktur dari *clay* semakin terbuka sehingga memudahkan resin untuk masuk kedalamnya. Karabulut (2003), partikel *clay* yang tersebar merata didalam matrik akan memperbesar bidang kontak antara keduanya, sehingga dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari komposit.

Penurunan nilai mekanik terjadi pada suhu pencampuran 120 dan 140 °C, masing-masing 1,87% dan 0,77% sehingga total penurunan nilai mekanik dari suhu 100 °C ke suhu 140 °C sebesar 2,64%. Hal ini disebabkan karena resin memiliki batas kemampuan untuk dapat digunakan dengan baik dan bekerja secara maksimal, apabila melebihi batas tersebut yang terjadi resin akan rusak dan nilai pengujian mekanik justru menurun atau lebih sering disebut dengan istilah *heat distortion temperature*. Demikian pula yang terjadi disini, karena melebihi dari *heat distortion temperature* maka dengan semakin bertambahnya suhu pada saat pencampuran *epoxy-MMT* nilai pengujian mekanik akan terus turun.



Gambar 6. Struktur Intermolekular Thermoset (Primer dan Sekunder)



Gambar 7. Struktur Intermolekular Thermoset (Primer)

Fenomena yang terjadi selanjutnya adalah, pada suhu 120 °C resin mulai mendidih sehingga timbul gelembung-gelembung kecil didalamnya. Meski setelah proses *mixing* dilakukan proses pemvakuman, akan tetapi tidak semua gelembung dapat tertarik keluar. Gelembung yang terjebak didalam komposit inilah yang mengakibatkan menurunnya nilai pengujian mekanik. Oleh karena itu dilakukan perhitungan prosentase *void*, yaitu perbandingan densitas campuran secara teoritis yang didapat dari spesifikasi resin dan *clay* dengan densitas aktual. Densitas aktual didapat dengan memotong spesimen kering/padat, kemudian mengukur dimensinya dan ditimbang.

Tabel 3. Prosentase *void* pada setiap variasi suhu

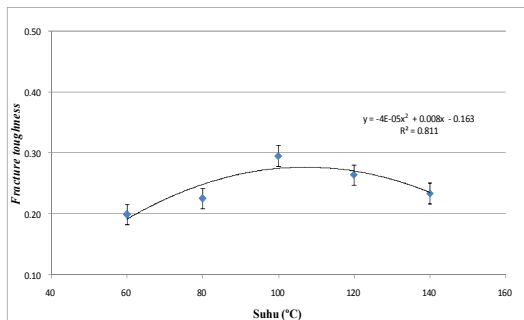
Variasi Suhu	60 ^o	80 ^o	100 ^o	120 ^o	140 ^o
Densitas Aktual (g/cm ³)	1,10	1,11	1,13	1,06	1,05
Densitas Teoritis (g/cm ³)	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Standar Deviasi (%)	0,28	0,26	0,09	0,80	2,23
Fraksi Volume (%)	6,77	5,65	4,04	9,52	10,96

Void atau rongga yang terdapat pada spesimen akan menyebabkan *initial crack*, sebab terjadi konsentrasi tegangan saat komposit diberi pembebanan/gaya. Hal tersebut tentu mengakibatkan nilai kekuatan mekanik dari komposit akan menurun. Seperti terlihat pada persentase *void* tabel 3 suhu 100 °C memiliki nilai paling kecil, maka saat dilakukan uji mekanik suhu tersebut kekuatannya paling besar. Persentase *void* terbesar terdapat pada suhu 140 °C tetapi hasil pengujian menunjukkan bahwa 60 °C nilainya paling kecil, karena ketidakhomogenan campuran yang menyebabkan menurunnya kekuatan komposit dan homogenitas campuran suhu 140 °C lebih baik daripada suhu 60 °C.

Matriks pada material komposit berfungsi untuk mendistribusikan beban pada serat-serat penguat, hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Gaylord pada tahun 1974. Adanya cacat seperti *void* dan retak pada matriks akan mempengaruhi fungsi matriks sebagai pendistribusi beban, misalnya terjadi pada konsentrasi tegangan disekitar cacat yang dapat menurunkan sifat mekanik dari material komposit.

2 Pengaruh Kecepatan Putaran Terhadap Fracture Toughness

Ketangguhan retak komposit dapat diketahui setelah dilakukan pengujian *fracture toughness* menggunakan *universal testing machine*.

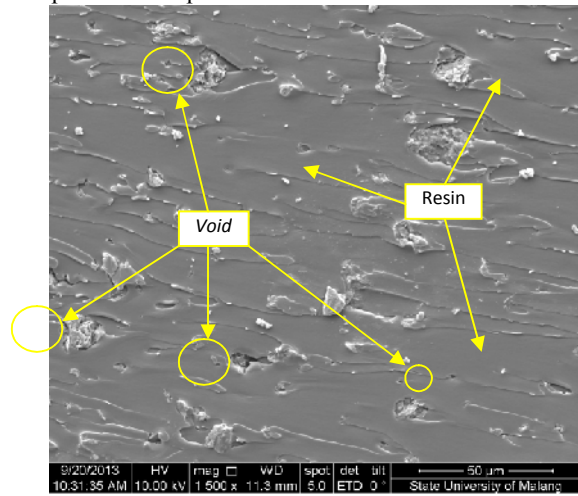


Gambar 8. Pengaruh variasi suhu pencampuran terhadap ketangguhan retak komposit epoxy-MMT.

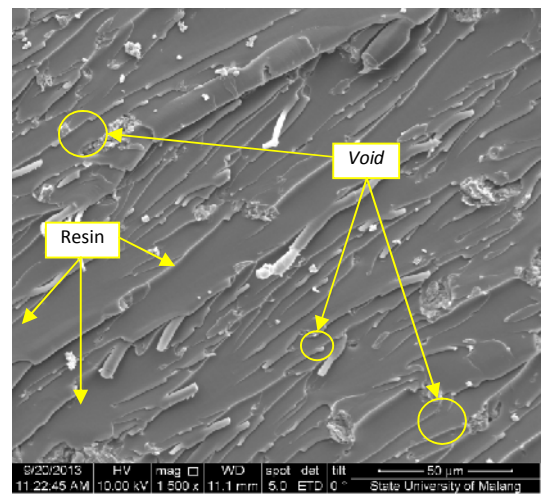
Seperti halnya pada saat dilakukan pengujian tarik, Gambar 4.4 juga menunjukkan bahwa semakin bertambahnya suhu pencampuran komposit epoxy-MMT, maka ketangguhan retak dari komposit juga terus mengalami peningkatan hingga mencapai nilai maksimal pada suhu 100 °C. Nilai ketangguhan retak dari suhu 60 °C sampai dengan suhu 100 °C meningkat sebesar 50% kemudian mulai turun pada suhu 120 °C sampai nilai minimum pada suhu 140 °C sebesar 23,33%.

Peningkatan *fracture toughness* dari komposit ini disebabkan karena *clay* yang tersebar merata di dalam polimer akan membatasi pergerakan ikatan polimer pada saat terkena pembebanan, sehingga partikel *clay* akan menjadi *crack displacement* yang

menyebabkan komposit tersebut akan memiliki ketangguhan retak yang lebih baik dibandingkan tanpa ada penyebaran partikel MMT didalamnya. Namun pada suhu 120 °C dan suhu 140 °C terjadi penurunan ketangguhan retak, hal itu disebabkan pada suhu tersebut terlalu tinggi sehingga pada proses *mixing* justru resin mendidih yang mengakibatkan timbulnya *void* dan rusaknya ikatan dalam resin yaitu putusya ikatan sekunder. Akibat adanya *void* maka pada daerah tersebut akan memiliki penampang yang lebih kecil dibandingkan daerah sekitarnya, sehingga menyebabkan konsentrasi tegangan pada daerah tersebut pada saat komposit terkena pembebanan.



Gambar 9. Pengamatan foto SEM komposit epoxy-montmorillonite dengan perbesaran 1500x pada spesimen fracture suhu 60°C.



Gambar 10. Pengamatan foto SEM komposit epoxy-montmorillonite dengan perbesaran 1500x pada spesimen fracture suhu 100°C.

KESIMPULAN

Pengaruh suhu pencampuran terhadap kekuatan tarik dan *fracture toughness epoxy resin - organoclay montmorillonite* nanokomposit, yaitu

dengan bertambahnya suhu maka viskositas resin turun sehingga mempermudah penyebaran *clay*. Sifat *clay* yang merupakan material dengan kekakuan tinggi yang membatasi pergerakan molekul polimer menyebabkan meningkatnya nilai mekanik komposit.

Nilai kekuatan tarik dan *fracture toughness* dari suhu 60 °C hingga 100 °C mengalami peningkatan, kekuatan tarik meningkat 7,21% sedangkan *fracture toughness* naik sebesar 50%. Jika pengujian tarik variasi suhu 100°C dengan rata-rata 56,14 MPa dibandingkan dengan tanpa perlakuan suhu yang memiliki nilai tegangan rata-rata 50,44 MPa, maka nilai kekuatan tarik variasi suhu naik sebesar 11,30%. Meskipun demikian, kenaikan nilai mekanik terhadap perubahan suhu tidaklah signifikan atau tidak begitu berpengaruh. Setelah mencapai suhu 120 °C ikatan sekunder dari resin terputus dan mulai timbul gelembung sehingga menurunkan nilai pengujian mekaniknya. Kekuatan tarik dari suhu 100 °C hingga 140 °C turun 2,58% dan *fracture toughness* turun sebesar 23,33%.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM D 5045-99, *Standard Test Methods for Plane-Strain Fracture Toughness and Strain Energy Release Rate of Plastic Materials*.

ASTM D 638-99, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*.

Chow, W.S., et al, 2007. *Optimization of process variables on flexural properties of epoxy/organo-montmorillonite nanocomposite by response surface methodology*. Express Polymer Letters, Vol.2- No.1.

Cole, K. C., et al, 2009. *The Effect of Temperature, Duration and Speed of Pre-Mixing on Dispersion of Clay/Epoxy Nanocomposites*. Composites Science and Technology.

Dubois, P., 2000. *Polymer layered Silicate nanocomposites*, University of Mons Hainaut, Belgia.

Feng, M., et al, 2004. *Effect of Clay on the Morphology of Blends of Polypropylene and Polyamide 6/Clay Nanocomposites*. Polymer International. Vol.53, 1529-1537.

Gaylord, M.W., 1974. *Reinforced Plastics: Theory and Practice*. Cahn Books, Boston.

Hadiyawardman., et al, 2008. *Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing*. Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi. Vol.1-No.1.

Karabulut, M., 2003. *Production and Characterization of Nanocomposite Materials From Recycled Thermoplastics*. Thesis Master of Science, Department of Polymer Science and Technology.

Konijnenberg, M.W., 1995. *Dose homogeneity in boron neutron capture therapy using an epithermal neutron beam*. The Netherlands Cancer Institute, Amsterdam.

Kusmono, 2010. *Studi Sifat Mekanik dan Morfologi Nanokomposit Berbasis Poliamid 6/Polipropilen/Clay*. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9, Palembang.

Nigam, V., et al, 2004. *Epoxy Montmorillonite Clay Nanocomposites: Synthesis and Characterization*. Department of Mechanical Engineering and Materials Science Programme, India.

Uribe, J., et al, 2010. *Melt Blending of Polystyrene/Organoclay Nanocomposites*. Department of Chemical Engineering, McGill University, 3610 University Street. Montreal, Quebec. Canada.

Wei, L. S., et al, 2010. *Influence of Mixing Conditions on Morphologies and Properties of MMT/Epoxy Resin Composite Materials*. Chem. Res. Chinese Universities.