

Pengaruh Fraksi Volume *Filler* terhadap Kekuatan *Bending* dan Ketangguhan Impak Komposit Nanosilika – *Phenolic*

Kuncoro Diharjo¹, Ischiadica Elharomy¹, Agus Purwanto²

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

²Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret

E-mail : kuncorodiharjo@ft.uns.ac.id

Abstract

The objective of this research is to investigate the effect of filler volume fraction on bending strength and impact toughness of nanosilica-phenolic composites. The research materials used were nanosilica powder, LP-1Q-EX phenolic resin, MEXPO catalyst and P-EX promotor. In this research, the filler volume fraction of nanosilica were varied into 10-60%. The composites were produced by using a hand lay-up method. All specimens were post cured at 100 °C for 60 minutes. The specimens were conducted with universal testing machine and impact izod testing machine. The fracture surfaces of the specimens were observed by using scanning electron microscopy (SEM). This result showed that the addition of nanosilica increased the bending strength and impact toughness. The maximum bending strength and impact toughness occurred on the specimens whose 30% of nanosilica (97,01 MPa and 8134,70 kJ/m²). SEM images showed better interaction of filler and matrix at 30% volume fraction of nanosilica.

Keywords : composite, nanosilica, phenolic, bending, impact

PENDAHULUAN

Penggunaan dan pemanfaatan material komposit sekarang ini semakin berkembang. Komposit mempunyai keunggulan tersendiri dibandingkan dengan bahan teknik alternatif lainnya. Keuntungan penggunaan material komposit antara lain tahan korosi, material yang ringan, mengurangi proses permesinan, murah dan proses pembuatannya mudah. Komposit adalah gabungan secara makro dari dua atau lebih material yang berlainan [1].

Nanokomposit merupakan material yang dibuat dengan mencampurkan nanopartikel ke dalam suatu material mikroskopik (matriks). Pencampuran *nanofiller* ke dalam matriks penyusun merupakan bagian di dalam perkembangan dunia nanoteknologi. Setelah menambahkan sejumlah nanopartikel ke dalam material matriks, nanokomposit yang dihasilkan menunjukkan sifat yang lebih unggul dibandingkan sifat material sebelumnya. Penggunaan aplikasi silika pada industri semakin meningkat terutama dalam penggunaan silika pada ukuran partikel yang kecil sampai skala mikron atau bahkan nanosilika. Kondisi ukuran partikel bahan baku yang diperkecil membuat produk

memiliki sifat yang berbeda yang dapat meningkatkan kualitas.

Resin *phenolic* adalah resin yang digunakan secara komersil lebih lama dari polimer sintetik lainnya. Resin ini memiliki keunggulan kestabilan dimensi, mudah dibentuk, penyusutan rendah, tahan retak, dan tahan asam akan tetapi kurang tahan terhadap alkali [2].

Penelitian ini membuat komposit nanosilika-*phenolic* menggunakan metode *hand lay-up*, dengan resin *phenolic* sebagai matriks dan serbuk nanosilika sebagai *filler* dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh fraksi volume *filler* terhadap kekuatan *bending* dan ketangguhan impak komposit nanosilika-*phenolic*.

TINJAUAN PUSTAKA

Nanosilika sebagai bahan campuran dapat meningkatkan kekuatan dua sampai tiga kali yang dibuat tanpa nanosilika. Selain itu, penelitian lain menyatakan bahwa 10% nanosilika sebagai bahan campuran dapat meningkatkan kekuatan dua kali lipat [3].

Nanosilika mampu meningkatkan ketangguhan impak komposit *polypropylene*

(PP) pada pemuatan *filler* 10% berat. Hal ini dikarenakan daerah permukaan nanosilika yang tinggi dapat meningkatkan ikatan antara *filler* dan matriks, sehingga menghasilkan ketangguhan impact yang lebih tinggi dari komposit tanpa nanosilika. Namun, dengan peningkatan *filler* di atas 10% berat, kekuatan impact menurun karena adanya aglomerasi *filler*. Aglomerasi *filler* dapat mempengaruhi munculnya keretakan pada komposit yang mengakibatkan penurunan ketangguhan impact komposit [4].

Modulus elastisitas *bending* pada sampel yang ditambahkan nanosilika lebih tinggi dibandingkan dengan sampel tanpa nanosilika, semua sampel diuji dengan variasi nanosilika (0,05%, 0,2%, 1%). Modulus elastisitas *bending* tertinggi diperoleh pada variasi nanosilika 0,05%, kemudian menurun pada konsentrasi nanosilika yang lebih tinggi [5].

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan adalah serbuk nanosilika, *phenolic* LP-1Q-EX, promotor P-EX dan katalis MEKPO, sedangkan alat yang digunakan meliputi cetakan kaca, timbangan, gelas pengaduk, *polish machine* dan oven. Alat uji yang digunakan adalah *universal testing machine* (UTM) untuk pengujian *bending*, *impact izod testing machine* untuk pengujian impact, timbangan digital untuk pengujian densitas dan SEM untuk mengamati permukaan patahan spesimen hasil pengujian. Perhitungan fraksi volume (V_f) nanosilika dilakukan dengan persamaan 1 sebagai berikut [6]:

$$V_f = \frac{m_f / \rho_f}{m_f / \rho_f + m_m / \rho_m} \quad (1)$$

Dengan catatan V_f = Fraksi volume serat/*filler* (%), m_f = Massa serat/*filler* (g), m_m = Massa matrik (g), ρ_f = Massa jenis serat/*filler* (g/mm³) dan ρ_m = Massa jenis matrik (g/mm³).

Proses pembuatan komposit dilakukan dengan kombinasi antara metode *hand lay-up* dan metode cetak tekan (*press molding*). *Post curing* komposit nanosilika-*phenolic* dilakukan pada suhu 100°C selama 60 menit.

PENGUJIAN

Pengujian *bending* dilakukan sesuai dengan standar ASTM D 6272. Besarnya kekuatan *bending* dapat dihitung dengan persamaan 2:

$$S = 3PL / 4bd^2 \quad (2)$$

Dengan catatan S = kekuatan *bending* (MPa), P = beban (N), L = jarak penumpu (mm), b = lebar benda uji (mm) dan d = tebal benda uji (mm).

Pengujian impact izod dilakukan sesuai dengan standar ASTM D 5941. Besarnya ketangguhan impact dapat dihitung dengan persamaan 3:

$$a_{iv} = \frac{W}{h \times b} \times 10^3 \quad (3)$$

Dengan catatan a_{iv} = ketangguhan impact (kJ/m²), W = energi yang diserap benda (Nm), h = tebal spesimen uji (m) dan b = lebar spesimen uji (m).

Pengujian densitas dilakukan sesuai dengan standar ASTM D-792 menggunakan persamaan:

$$SG = \frac{a}{a-b} \quad (4)$$

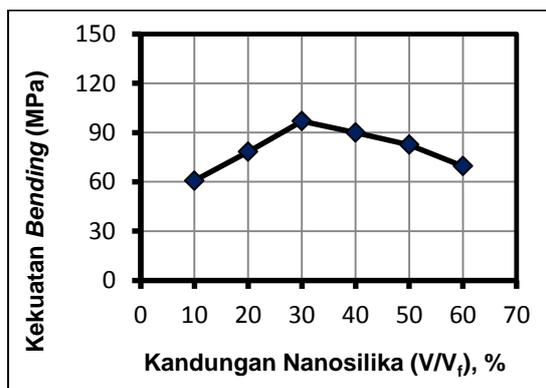
Dengan catatan SG = *specific gravity*, a = massa benda di udara (g), b = massa benda di dalam fluida (g).

Pengujian *bending* menghasilkan data beban dan defleksi, selanjutnya analisis data dilakukan dengan melakukan perhitungan sesuai dengan persamaan yang terdapat di ASTM D 6272. Pengujian impact menghasilkan data sudut ayun pantul, selanjutnya analisis data dilakukan dengan melakukan perhitungan sesuai dengan persamaan yang terdapat di ASTM D 5941. Pengujian densitas menghasilkan data berat spesimen di udara dan di air, selanjutnya data tersebut diolah dengan melakukan perhitungan sesuai dengan persamaan yang terdapat pada ASTM D 792. Data kekuatan *bending*, ketangguhan impact dan densitas komposit selanjutnya disusun grafik terhadap fraksi volume nanosilika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

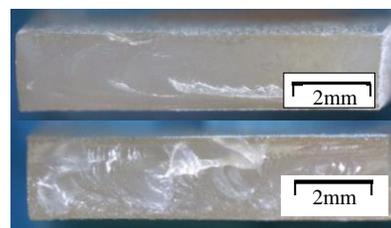
Kekuatan Bending

Kekuatan *bending* dipengaruhi oleh variasi fraksi volume nanosilika dengan variasi fraksi volume nanosilika 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan 60%. Grafik hubungan kekuatan *bending* komposit nanosilika-*phenolic* dengan variasi fraksi volume nanosilika ditunjukkan pada Gambar 1. Kekuatan *bending* tertinggi diperoleh pada variasi fraksi volume nanosilika 30% sebesar 97,01 MPa, sedangkan kekuatan *bending* terendah diperoleh pada variasi fraksi volume nanosilika 10% sebesar 60,71 MPa. Komposit fraksi volume nanosilika 10% sampai 30% mengalami peningkatan kekuatan *bending* seiring dengan peningkatan fraksi volume nanosilika yang dikarenakan *filler* nanosilika menyebar secara merata dan dapat terikat dengan baik oleh matriks sehingga dapat mencegah munculnya retak yang dapat mempengaruhi peningkatan kekuatan *bending*. Kekuatan *bending* fraksi volume nanosilika 40% sampai 60% semakin menurun yang dikarenakan semakin besar fraksi volume *filler* nanosilika menyebabkan matriks semakin sedikit, sehingga ikatan antara matriks dengan *filler* semakin lemah dan *filler* nanosilika tidak dapat menyebar dengan baik dalam matriks.

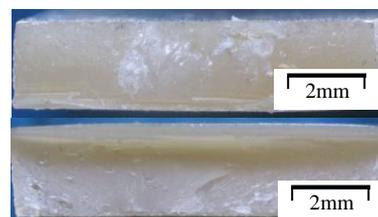


Gambar 1. Kekuatan bending

Hasil pengamatan foto makro penampang patah komposit fraksi volume nanosilika 30% dan 60% menunjukkan perbedaan warna struktur penampang patah komposit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2a dan 2b. Fraksi volume nanosilika 30% menghasilkan kekuatan *bending* tertinggi dikarenakan nanosilika dapat menyebar secara merata dan dapat terikat dengan baik oleh matriks *phenolic* seperti ditunjukkan pada Gambar 2a, sedangkan fraksi volume nanosilika 60% pada Gambar 2b menunjukkan adanya *void* atau rongga udara dan nanosilika yang tidak terikat dengan baik oleh matriks *phenolic* yang menyebabkan munculnya nanosilika yang menggumpal.

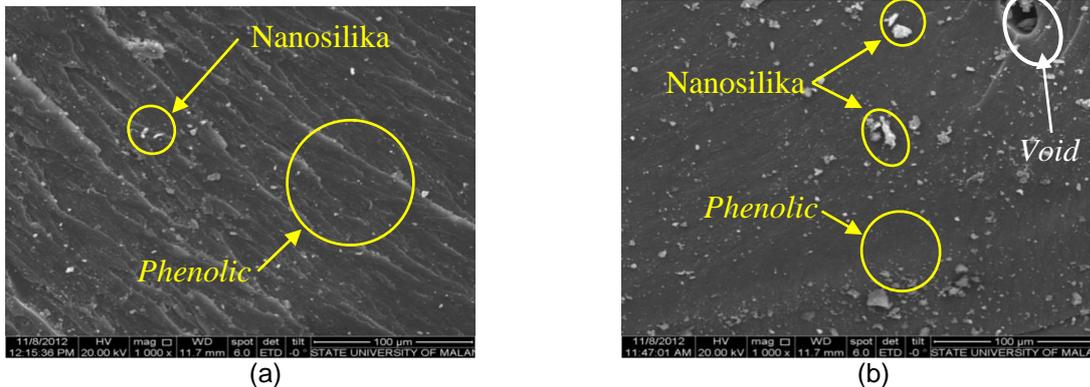


a. Fraksi volume nanosilika 30%



b. Fraksi volume nanosilika 60%

Gambar 2. Foto makro penampang patah komposit nanosilika-*phenolic*



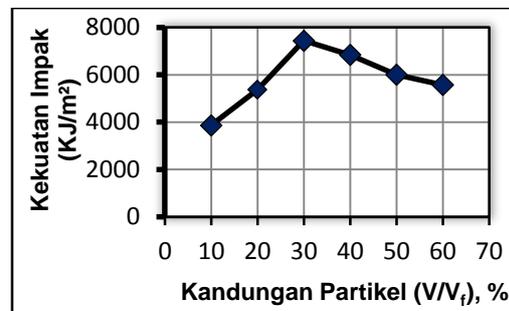
Gambar 3. SEM pengujian *bending* dengan fraksi volume nanosilika (a) 30% (b) 60%

Pengamatan foto SEM bentuk permukaan patahan pengujian *bending* komposit fraksi volume nanosilika 30% pada Gambar 3a menunjukkan persebaran *filler* nanosilika yang cukup merata sehingga dapat mengurangi munculnya *filler* yang menggumpal pada komposit nanosilika-phenolic. Foto SEM patahan akibat beban pengujian *bending* fraksi volume nanosilika 60% ditunjukkan pada Gambar 3b. Foto SEM menunjukkan dengan meningkatnya fraksi volume nanosilika menghasilkan struktur permukaan yang lebih kasar, penyebaran nanosilika tidak bisa merata dan membentuk nanosilika yang menggumpal, adanya perambatan retak akibat dari *void* (rongga udara) yang terbentuk.

Ketangguhan Impak

Pengujian impak bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap suatu material sampai material tersebut patah. Pengujian impak merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba atau beban impak. Grafik ketangguhan impak komposit nanosilika-phenolic ditunjukkan pada Gambar 4. Ketangguhan impak dipengaruhi oleh variasi fraksi volume nanosilika. Fraksi volume nanosilika 10% sampai 30% mengalami peningkatan ketangguhan impak yang disebabkan partikel nanosilika dapat terikat secara menyeluruh oleh matriks phenolic. Fraksi volume nanosilika 40% sampai 60% mengalami penurunan ketangguhan impak pada komposit. Penurunan ketangguhan impak pada komposit dikarenakan matriks kurang sempurna dalam mengikat nanosilika yang menjadikan ketangguhan impak menurun dan semakin besar fraksi volume

nanosilika pada komposit mengakibatkan munculnya gumpalan nanosilika dan *void*.



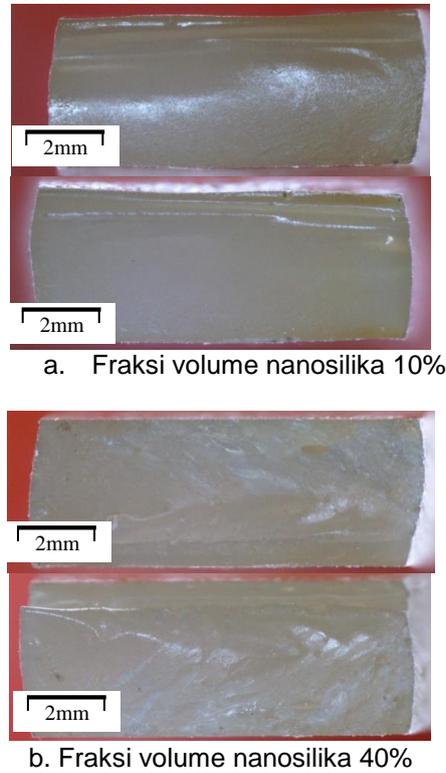
Gambar 4. Grafik ketangguhan impak

Hasil pengamatan foto makro penampang patah komposit fraksi volume nanosilika 10% dan 40% menunjukkan struktur permukaan yang berbeda. Fraksi volume nanosilika 10% menunjukkan struktur permukaan penampang patah yang halus dan *filler* dapat terikat dengan baik oleh matriks seperti ditunjukkan pada Gambar 5a, sedangkan struktur permukaan yang kasar dan adanya perambatan retak akibat dari *void* yang terbentuk terjadi pada komposit fraksi volume nanosilika 40% yang ditunjukkan pada Gambar 5b.

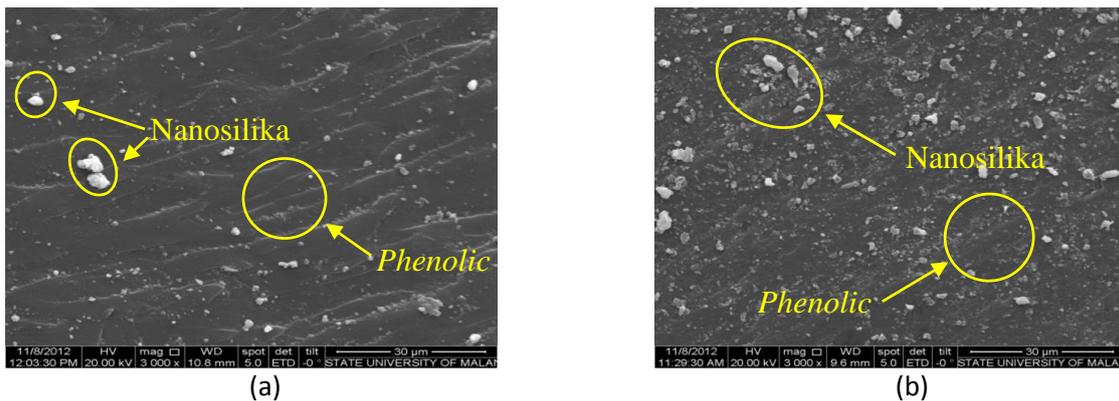
Permukaan patahan komposit hasil pengujian impak fraksi volume nanosilika 10% pada Gambar 6a menunjukkan struktur permukaan yang halus namun terdapat partikel nanosilika yang menggumpal dan tidak terikat dengan baik dengan matriks yang dikarenakan proses pencampuran nanosilika yang tidak tepat sehingga dapat menurunkan ketangguhan impak komposit. Patahan permukaan komposit nanosilika-phenolic pada

fraksi volume 40% ditunjukkan pada Gambar 6b. Hasil pengamatan SEM pada komposisi *filler* yang lebih tinggi menunjukkan tekstur permukaan yang lebih kasar yang disebabkan tidak sempurnanya kontak permukaan antara

matriks dan *filler*. Adanya rongga dan *filler* yang tidak terikat baik dengan matriks dapat mempengaruhi terhadap penurunan ketangguhan impak.



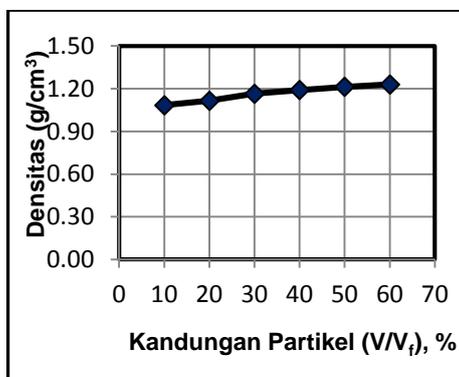
Gambar 5. Foto makro penampang patah komposit nanosilika-phenolic



Gambar 6. SEM pengujian impak dengan fraksi volume nanosilika (a) 10%, (b) 40%

Densitas

Pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui kepadatan material komposit. Grafik hasil pengujian densitas komposit nanosilika-*phenolic* ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil pengujian densitas menunjukkan penambahan *filler* nanosilika dapat meningkatkan densitas komposit nanosilika-*phenolic*. Densitas komposit pada fraksi volume nanosilika 10% sebesar $1,08 \text{ g/cm}^3$, kemudian meningkat menjadi $1,23 \text{ g/cm}^3$ pada fraksi volume nanosilika 60%. Peningkatan densitas dikarenakan semakin tinggi fraksi volume nanosilika, maka kepadatan pada komposit semakin meningkat.



Gambar 7. Grafik densitas komposit

KESIMPULAN

Penambahan *filler* nanosilika dapat meningkatkan kekuatan *bending*, ketangguhan impak dan densitas komposit. Kekuatan *bending* dan ketangguhan impak komposit meningkat sampai fraksi volume nanosilika 30% karena *filler* nanosilika dapat menyebar secara merata dan dapat terikat dengan baik oleh matriks, sehingga dapat mencegah munculnya retak yang dapat mempengaruhi peningkatan kekuatan *bending* dan ketangguhan impak komposit, sedangkan peningkatan densitas dikarenakan semakin tinggi fraksi volume nanosilika, maka kepadatan pada komposit semakin meningkat. Kekuatan *bending* dan ketangguhan impak komposit menurun pada fraksi volume nanosilika 40% sampai 60% karena semakin besar fraksi volume *filler* nanosilika menyebabkan matriks semakin sedikit, sehingga ikatan antara matriks dengan *filler* semakin lemah yang dapat mengakibatkan munculnya *filler* yang menggumpal dan *filler*

nanosilika tidak dapat menyebar dengan baik dalam matriks.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Peneliti mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Sebelas Maret yang telah mendanai penelitian ini melalui skim Penelitian Guru Besar dan Laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gay, D., Hoa, S. V. dan Tsai, S. W., 2003, *Composite Materials Design and Applications*, CRC Press LLC, USA.
- [2] Harvianto, D. P. dan Sulistijono, 2012, Pengaruh Komposisi *Phenolic Epoxy* Terhadap Karakteristik Coating pada Aplikasi Pipa *Overhead Debutanizer*, *Jurnal Teknik ITS.*, Vol. 1, No. 1, Hal. 69-74, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- [3] Rochani, S. dan Wahyudi, A., 2010, Peran Teknologi Dalam Pengolahan Mineral, *Jurnal M&E.*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung, Vol. 8, No. 1, 4-9.
- [4] Safwan, M., M. Lin, O. H. dan Akil, H. M., 2013, Preparation and Characterization of Palm Kernel Shell/Polypropylene Biocomposites and their Hybrid Composites with Nanosilica, *Palm shell-PP-SiO₂ composites*, *BioResources*, Malaysia, Vol.8, No.2, 1539-1550
- [5] Balos, S., Pilic, B., Petronijevic, B., Markovic, D., Mirkovic, S. dan Sarcev, I., 2013, *Improving Mechanical Properties of Flowable Dental Composite Resin by Adding Silica Nanoparticles*, Vojnosanit Pregl, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia, Vol.70, No.5, 477-483
- [6] Shackelford, 1992, *Introduction to Materials Science for Engineer*, 3rd Edition, MacMillan Publishing Company, New York, USA.