

## **KAJIAN KEKUATAN MEKANIK KOMPOSIT CERDAS NANO FLY ASH SEBAGAI BAHAN PANEL MAGAZINE MESIN WINDING**

**Agus Setyawan<sup>1\*</sup>, Dody Irnawan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Universitas Surakarta

<sup>2</sup>Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

[agussetyawan148@gmail.com](mailto:agussetyawan148@gmail.com), [dodyirnawan@gmail.com](mailto:dodyirnawan@gmail.com)

**\*Corresponding author**

To cite this article: Setyawan, A., & Irnawan, D. (2023). KAJIAN KEKUATAN MEKANIK KOMPOSIT CERDAS NANO FLY ASH SEBAGAI BAHAN PANEL MAGAZINE MESIN WINDING. Jurnal Ilmiah Arsitektur, 13(2), 228-236.

**Author information**

Agus Setyawan, fokus riset bidang Sumberdaya Air, Pemodelan Hidrologi dan Analisa Struktur, ORCID: <https://sandbox.orcid.org/0009-0007-2259-6748>, WOS Reseacher ID GPK-7047-2022, Sinta ID : 6727051, Dody Irnawan, fokus riset bidang Material Teknik, Analisa Struktur dan Konstruksi, WOS Reseacher ID ABC-2208-2022, Sinta ID : 6139166

**Homepage Information**

Journal homepage : <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars>  
Volume homepage : <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars/issue/view/336>  
Article homepage : <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/jiars/article/view/6053>

## KAJIAN KEKUATAN MEKANIK KOMPOSIT CERDAS NANO FLY ASH SEBAGAI BAHAN PANEL MAGAZINE MESIN WINDING

**Agus Setyawan<sup>1\*</sup>, Dody Irnawan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Universitas Surakarta

<sup>2</sup>Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

[agussetyawan148@gmail.com](mailto:agussetyawan148@gmail.com), [dodyirnawan@gmail.com](mailto:dodyirnawan@gmail.com)

---

### INFO ARTIKEL

#### Riwayat Artikel :

Diterima : 6 Desember 2023  
Direvisi : 28 Desember 2023  
Disetujui : 29 Desember 2023  
Diterbitkan : 31 Desember 2023

#### Kata Kunci :

*fly ash*, mesin winding, textile

### ABSTRAK

Pada industri tekstil proses pemintalan benang dapat terjadi bercampurnya dua jenis benang dalam satu gulungan (*cone*). Umumnya memakai mika *acrylic*, namun mudah pecah, impor dan harga relatif mahal, maka diganti menggunakan triplek, tetapi cepat rusak (tidak ekonomis). Pemanfaatan *fly ash* sangat terbatas, maka perlu kajian potensi produk baru komposit. Tujuan penelitian mengetahui kekuatan mekanik komposit cerdas nano *fly ash*-epoksi sebagai bahan panel *magazine* mesin winding (penggulung benang). Bahan penelitian *fly ash mesh* 120, di-oven 110 °C selama 45 menit (kadar air) 4%. Pencampuran *fly ash*-epoksi diaduk 6 menit ditambah katalis 1% diaduk lagi 2 menit dituang dicetak. Hasil penelitian sifat mekanik tertinggi pada fraksi berat 30:70, ketangguhan impak 2,75 KJ/cm<sup>2</sup> dan kekuatan bending 48,03 MPa. Pengamatan foto SEM patahan impak, menunjukkan ikatan yang baik antara *filler* dan matrik dibanding variasi lainnya, adanya rongga/pori-pori ukuran kecil relatif sedikit, penyebaran matrik dan *filler* berlangsung lebih merata, berdampak peluang terjadinya inisiasi patah lebih kecil sehingga nilai ketangguhan impak tinggi. Hasil pengujian ketangguhan impak komposit *fly ash*-epoksi fraksi berat 30:70 lebih tinggi, dibanding bahan mika akrilik dan bahan triplek, sehingga disimpulkan komposit *fly ash*-epoksi sangat berpotensi dipakai sebagai panel/sekat *magazine* mesin winding, pengganti material sebelumnya.

---

### ARTICLE INFO

#### Article History :

Received : December 6, 2023  
Revised : December 28, 2023  
Accepted : December 29, 2023  
Published: December 31, 2023

#### Keywords:

*fly ash*, winding machine, textile

### ABSTRACT

*In the textile industry, the yarn spinning process can involve mixing two types of yarn in one roll (cone). Generally using mica acrylic, but it breaks easily, is imported and relatively expensive, so it is replaced with plywood, but it breaks quickly (not economical). The use of fly ash is very limited, so it is necessary to study the potential of new composite products. The aim of the research is to determine the mechanical strength of smart nano fly ash-epoxy composites as material for winding machine magazine panels (thread winders). Research material fly ash mesh 120, oven at 110 °C for 45 minutes (moisture content) 4%. The fly ash-epoxy mixture was stirred for 6 minutes, plus 1% catalyst, stirred for another 2 minutes and poured into molds. The highest mechanical properties research results were in the weight fraction 30:70, impact toughness 2.75 KJ/cm<sup>2</sup> and bending strength 48.03 MPa. Observation of SEM photos of impact fractures shows a good bond between the filler and matrix compared to other variations, there are relatively few small cavities/pores, the distribution of the matrix and filler is more even, resulting in a smaller chance of fracture initiation resulting in a high impact toughness value. The results of testing the impact toughness of fly ash-epoxy composites with a weight fraction of 30:70 were higher than those of acrylic mica and plywood materials, so it was concluded that fly ash-epoxy composites have the potential to be used as panels/bulkheads for winding machine magazines, as a replacement for previous materials.*

---

## PENDAHULUAN

Pada industri tekstil saat proses pemintalan benang sering terjadi permasalahan mendasar yaitu bercampurnya dua jenis benang dalam satu gulungan (*cone*). Penyebabnya pada satu mesin *winding* (penggulung benang) terkadang menggulung lebih dari satu jenis benang.



Gambar 1. Sekat *acrylic* dan triplek mesin *winding*

Sumber: Dokumentasi Peneliti, (2022)

Sekat pembatas awalnya menggunakan bahan mika *acrylic* dengan ukuran 1220 mm X 2440 mm tebal 6 mm seharga Rp 950.000, namun material tersebut harus impor, harga relatif mahal dan mudah pecah, maka bisa digantikan triplek ukuran sama. Namun karena kondisi kelembaban tinggi di area produksi *winding* (RH berkisar 70%, suhu 25 °C–28 °C), maka sekat triplek tidak bertahan lama/mudah rusak, sehingga sering diganti (tidak ekonomis).

Hasil pembakaran batu bara terdiri 2 macam, jenis abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (Permatasari et al., 2023) et all, 2023). *Fly ash* di Indonesia terus meningkat, namun tak seiring solusi dan akan berakhir pada penimbunan di lahan kosong atau terbuang begitu saja (Sunardi, 2015). Ukuran partikel *fly ash* hasil pembakaran batubara lebih kecil dari 0,075 mm, kerapatan berkisar antara 2,1 sampai 3,0 gr/cm<sup>3</sup>, luas area spesifiknya antara 170 sampai 1000 m<sup>2</sup>/kg, ukuran partikel rata-rata adalah 0,01 mm sampai 0,015 mm luas (berbentuk seperti bola) dan *specific gravity* 2,2-2,4 gr/cm<sup>2</sup> (Setiawati, 2018). Kandungan *fly ash* terdiri dari SiO<sub>2</sub> (silikon dioksida), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (aluminium oksida) dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (besi oksida) (Samosir & Har, 2021). Sifat fisik *fly ash* diantaranya densitas 2,23 gr/cm<sup>2</sup>, kadar air sekitar 4% dan komposisi mineral yang dominan adalah  $\alpha$ -kuarsa dan *mullite*. *Fly ash* mengandung SiO<sub>2</sub> 58,75%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 25,82% dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5,30% (Wijaya et al., 2021).

Komposit merupakan material dari kombinasi dua atau lebih bahan hingga dihasilkan material baru yang mempunyai sifat

mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya (A Nurhidayat, 2020), serta mampu memberikan properti yang unik (Tri-Dung Ngo, 2020). Keuntungan material komposit mampu bentuk, sifat ringan, kuat, tidak korosi dan mampu bersaing dengan logam, dengan tidak kehilangan karakteristik dan kekuatan mekanisnya (Achmad Nurhidayat et al., 2022). Penggunaan dan pemanfaatan material komposit telah banyak diaplikasikan dalam peralatan teknologi tinggi di bidang industri, transportasi dan konstruksi bangunan (Slamet, 2013).

Nilai kekuatan bending rata-rata tertinggi sebesar 59,26 N/mm<sup>2</sup> dicapai pada komposit dengan ukuran partikel *fly ash* 120 mesh, sedang terendah sebesar 25 N/mm<sup>2</sup> dicapai pada komposit dengan ukuran partikel *fly ash* 40 mesh (Fema, 2013).

Komposit *fly ash* dengan mencampurkan resin *poliester*, *katalis* dan *fly ash*, menyimpulkan bahwa kekuatan tarik, kekuatan *bending* dan kekerasan terbesar terjadi pada komposisi 60%:40% (Fema, 2013).

Kekuatan *bending* komposit meningkat optimum terjadi pada 75% fraksi berat *fly ash* pada temperatur sinter 1200 °C dengan nilai sebesar 53,04 MPa, (Hamzah et al., 2015).

Kekuatan tekan komposit *fly ash* resin epoksi yang terbaik, 96,2 (N/mm<sup>2</sup>) dengan komposisi 46 % *fly ash*, sedangkan kekuatan impak terbaik dengan komposisi 30% *fly ash* 0,92 joule (Singla & Chawla, 2010).

Pengujian ketangguhan impak mika *acrylic* dan triplek pembatas *magazine* sebagai referensi pembandingan kekuatan komposit *fly ash*-resin, didapatkan nilai rata-rata berturut-turut sebesar 1,64 J/cm<sup>2</sup> dan 2,04 J/cm<sup>2</sup> (pengujian Peneliti tanpa publikasi, 2023).

Papan serat sabut kelapa memenuhi standar FAO (1996) yang mensyaratkan kerapatan sebesar 0,42 – 0,80 g/cm<sup>3</sup> (Mulyadi & Alphanoda, 2017).

Berdasar pada permasalahan yang dihadapi, maka perlu integrasi sekat pembatas *magazine* mika *acrylic* dan triplek diganti komposit berbahan dasar *fly ash* limbah. Penelitian tentang kajian kekuatan mekanik komposit *fly ash* ini, diharapkan dapat membantu meminimalkan pengeluaran perusahaan (*cost*), khususnya masalah pembatas penggulung benang.

## METODE

### Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen destruktif. Bahan penelitian terdiri serbuk *fly ash* lolos *mesh* 120 dengan jenis *bituminus* dengan kandungan kalori antara 5833 kcal/kg-7777 kcal/kg dan karbon (C) 68%-86% hasil pembakaran batubara pada industri tekstil di Solo Raya, *realeaser mirror glasewax*, resin *epoxy*, *polyester film/astrolom* dibeli dari PT. Justus Kimia Raya, Semarang serta air bersih secukupnya.

Alat penelitian timbangan digital, *mesh* (saringan), *Mesh* 120, *waterpass*, cetakan kaca, gelas ukur, pengaduk dan spatula lancip, mistar, jangka sorong, pembeban 10 Kg, Kuas, *Cutter*, Gunting, sendok/*scrap*, kain lap, mesin uji impak izod untuk menguji ketangguhan impak kapasitas 30 kgf, berat pendulum 1,591 kgf, 2,083 kgf, jarak dari pusat berputar exis ke pusat gravitasi 11,04 cm, 16,86 cm, jarak dari pusat memutar exis ke pusat persepsi 35,7 cm, sudut dalam posisi pendulum yang terangkat 135 DEG dan pertukaran 1,200 SEC, 1201 SEC. serta Mesin UTM (*Universal Testing Machine*) dengan nomer seri 64458 *static rating*  $\pm 30$  kN dan torsi aksial maksimal 120 Nm.

### Tempat dan Penelitian

Pembuatan spesimen dan uji Bending Laboratorium UTM Teknik Mesin-Universitas Surakarta, Pengujian Impak di Laboratorium Terpadu MIPA Universitas Sebelas Maret dan Foto SEM di Laboratorium UNS. Waktu penelitian total 6 bulan (persiapan, *trial and error*, pembuatan spesimen uji, pengujian dan olah data/pembahasan).

### Variabel Penelitian terdiri atas:

1. Variabel bebas merupakan gabungan dari beberapa gejala yang mempunyai aspek atau unsur yang dapat mempengaruhi munculnya variabel lain dan pada penelitian ini fraksi berat *fly ash*-epoksi.
2. Variabel terikat yaitu gabungan dari beberapa masalah yang memiliki aspek dan unsur didalamnya, sehingga ada atau tidaknya variabel terikat tergantung ada tidaknya variabel bebas. Pada penelitian ini variabel terikatnya adalah *fly ash* (abu terbang batubara), epoksi serta katalis.
3. Variabel kontrol merupakan variabel yang bisa mempengaruhi suatu hasil dari penelitian, tetapi tidak termasuk kedalam pembahasan penelitian. Variabel kontrol penelitian ini pengujian impak, pengujian bending dan foto SEM.

### Langkah-langkah Penelitian Pembuatan Spesimen Uji

*Fly ash* yang telah diambil dari hasil sisa pembakaran batu bara industri tekstil terlebih dahulu dijemur dibawah sinar matahari sampai kering. *Fly ash* yang sudah benar-benar kering kemudian disaring menggunakan saringan lolos *mesh* 120. Serbuk di *oven* pada temperatur 110 °C selama 45 menit dan diuji dengan alat *Moisture Wood Meter* (MWM) hingga menyisakan kadar air maksimal 4% (Achmad Nurhidayat, 2016).

Langkah selanjutnya *Fly ash* yang sudah di-*oven* selanjutnya dimasukkan ke dalam gelas plastik kemudian dicampur *epoxy*, *epoxy hardener* dan katalis dengan perbandingan fraksi berat *fly ash*-resin 60:40 gram. Campuran fraksi berat diaduk secara perlahan dengan kecepatan konstan selama 100 kali. Hal ini bertujuan untuk menekan potensi *void* ketika pengadukan, setelah itu campuran ditambahkan katalis sebesar 1% dan diaduk kembali secara perlahan selama 60 kali (Achmad Nurhidayat, 2021).

Selanjutnya campuran tersebut dituang ke dalam cetakan dan yang telah disiapkan. Adonan bahan diratakan dengan pengaduk dan ditusuk-tusuk spatula lancip untuk mengurangi gelembung udara yang terjebak. Proses akhir menutup cetakan dengan kaca dan astrolom pada semua bagian cetak dan memberi beban 10 kg diatasnya. Komposit akan diambil dari cetakan setelah 6-8 jam kemudian. Proses selanjutnya adalah merapikan bentuk spesimen dengan *cutter*, kemudian melakukan pengujian impak izot standar ASTM D-5941, pengujian bending standar ASTM D-6272 sebanyak 6 kali ulangan dan foto SEM patahan spesimen uji impak izot.

### Langkah Pengujian Mekanik Komposit

**Pengujian Impak Izot** ASTM D-5941 bertujuan mengetahui ketangguhan spesimen saat menerima beban kejut. Rumus perhitungannya sebagai berikut:

$$W = [w \cdot R \cdot (\cos \beta - \cos \alpha)]$$

Keterangan:

W = Berat pendulum (N)

R = Jarak dari pusat rotasi pendulum ke pusat massa (m)

$\beta$  = Sudut pantul lengan ayun (mm)

$\alpha$  = Sudut naik awal ayun

Pendulum diayunkan bebas akan tetap tanpa mengena benda uji. sudut pantul lengan ayun lebih kecil dibandingkan dengan sudut naiknya, berarti terdapat gesekan maka nilai W dikurangi energi gesekan.

$$W = w \cdot R \cdot (\cos \beta' - \cos \alpha)$$

Persamaan untuk menghitung energi total yang diserap oleh benda (w) yaitu:

$$W = W_{\text{spesimen}} - W_{\text{gesek}}$$

Keterangan:

$\beta'$  = sudut pantul lengan ayun tanpa mengenai benda

Perhitungan nilai kekuatan impact benda uji adalah sebagai berikut:

$$a_{iU} = \frac{W}{h \cdot x \cdot b} \times 10^3 \left( \frac{J}{N^2} \right)$$

Keterangan:

h = ketebalan benda uji (m)

b = lebar benda uji (m)

**Pengujian bending** (metode *four point bending*) ASTM D-6272, bertujuan menunjukkan ketahanan komposit terhadap pembebanan pada titik lentur serta mengetahui keelastisitasan suatu bahan. Persamaan tegangan bending sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{3FL}{4bd^2}$$

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan bending (MPa)

F = Beban (N)

L = Panjang Span (mm)

b = Lebar (mm)

d = Tebal (mm)

sedangkan untuk mencari modulus elastisitas bending menggunakan rumus :

$$E = \frac{11FL^2}{32bh^2\delta}$$

Dimana :

E = Modulus elastisitas bending (MPa)

F = Beban (N)

L = Panjang span (mm)

B = Lebar (mm) d =Tebal (mm)  $\delta$  = Defleksi (mm).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian variasi fraksi berat spesimen komposit *fly ash*-resin epoksi, didapatkan data dan grafik serta pembahasan uji mekanik (ketangguhan impact, kekuatan tarik dan kekuatan bending).

Hasil pengujian impact *izod* spesimen komposit variasi fraksi berat *filler fly ash* dengan matrik resin epoksi sebagaimana pada tabel 1., didapat nilai ketangguhan impact rata-rata 20:80 sebesar 2,39 KJ/cm<sup>2</sup>, 30:70 sebesar 2,75 KJ/cm<sup>2</sup>, 40:60 sebesar 2,45 KJ/cm<sup>2</sup>, 50:50 sebesar 2,10 KJ/cm<sup>2</sup> dan 60:40 sebesar 1,81 KJ/cm<sup>2</sup>. Nilai ketangguhan impact tertinggi rata-rata terjadi pada variasi fraksi berat 30:70 sebesar 2,75 KJ/cm<sup>2</sup>, sedangkan nilai

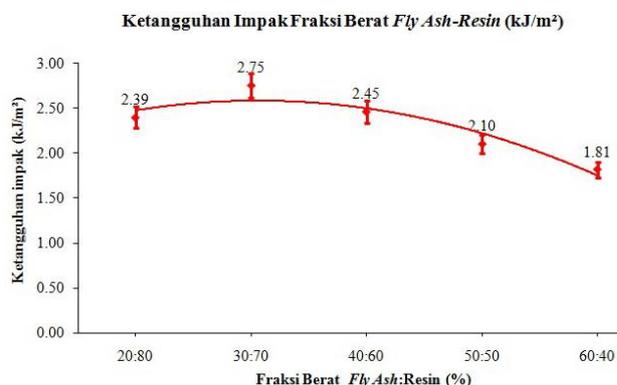
ketangguhan impact terendah rata-rata terjadi pada fraksi berat 60:40 sebesar 1,81 KJ/cm<sup>2</sup>.

Tabel 1. Hasil rata-rata ketangguhan Impact

FB Fly ash-Epoksi (%)	Rata-rata (KJ/cm <sup>2</sup> )	Persentase
20:80	2.39	12.87%
30:70	2.75	
40:60	2.45	10.73%
50:50	2.10	14.32%
60:40	1.81	13.83%
Mika Akrilik	1,64	
Bahan Triplek	2,04	

Sumber: Dokumen Peneliti, 2023

Sebagai perbandingan uji bahan sekat lainnya, pada tabel tersebut untuk bahan mika akrilik diketahui 1,64 KJ/cm<sup>2</sup> dan bahan triplek 2,04 KJ/cm<sup>2</sup>, sehingga diketahui lebih tinggi nilai ketangguhan impact komposit *fly ash*-epoksi fraksi berat 30:70.



Gambar 5. Grafik ketangguhan impact komposit  
 Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2023.

Sebagaimana pada gambar 5., grafik hasil pengujian ketangguhan impact menunjukkan bahwa perbandingan persen fraksi berat antara *filler fly ash* dan matrik resin epoksi mempengaruhi nilai ketangguhan impact komposit. Pada variasi fraksi berat *filler fly ash* dengan matrik resin epoksi 20:80 terhadap variasi 30:70, terjadi peningkatan ketangguhan impact sebesar 12,87%. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin meningkat persen jumlah fraksi berat *fly ash* dibanding jumlah matrik resin epoksi, maka kekuatan mekanik komposit semakin tinggi akibat *filler fly ash* dan matrik mampu optimal mendistribusikan beban secara merata. Namun pada variasi fraksi berat *filler fly ash* dengan matrik resin epoksi 30:70 terhadap variasi berturut-turut 40:60, 50:50 dan 60:40 terjadi penurunan ketangguhan impact rata-rata sebesar 14,93%. Hal tersebut lebih

disebabkan karena matrik resin epoksi tidak mampu mengikat dan melindungi *filler fly ash* dengan baik, sehingga terbentuk potensi rongga atau pori-pori pada struktur komposit lebih banyak, yang menyebabkan ketangguhan dampak semakin berkurang.

Hasil pengujian dampak ini diketahui bahwa kegagalan menurunnya sifat mekanik ketangguhan dampak pada komposit *filler fly ash*-resin epoksi disebabkan karena penguat (*filler*) atau pengikat (*matrik*) dalam jumlah % tertentu, sehingga tidak mampu optimal pada fungsinya masing-masing. Hasil pengujian ketangguhan dampak lebih tinggi komposit *filler fly ash*-resin epoksi fraksi berat 30:70 sebesar 2,75 KJ/cm<sup>2</sup>, dibanding bahan mika akrilik 1,64 KJ/cm<sup>2</sup> dan bahan triplek 2,04 KJ/cm<sup>2</sup> dengan dimensi sama. Maka berdasar hasil uji tersebut diketahui bahwa komposit *filler fly ash*-resin epoksi sangat berpotensi dipakai sebagai panel/sekat *magazine* mesin winding, pengganti material sebelumnya.

Tabel 2. Hasil rata-rata kekuatan bending

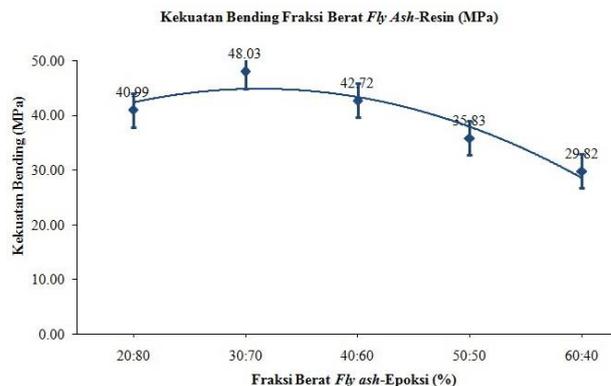
FB Fly ash-Epoksi (%)	Rata-rata (MPa)	Deviasi	Persentase
20:80	40,99	0,22	14,65%
30:70	48,03	0,27	
40:60	42,72	0,13	11,07%
50:50	35,83	0,13	16,13%
60:40	29,82	0,32	16,76%

Sumber: Dokumen Peneliti, 2023

Pada tabel 2., merupakan data hasil pengujian bending spesimen komposit variasi fraksi berat *filler fly ash* dengan matrik resin epoksi, berturut-turut didapat nilai kekuatan bending rata-rata 20:80 sebesar 40,99 MPa, 30:70 sebesar 48,03 MPa, 40:60 sebesar 42,22 MPa, 50:50 sebesar 35,83 MPa dan 60:40 sebesar 29,82 MPa. Nilai kekuatan bending tertinggi rata-rata terjadi pada variasi fraksi berat 30:70 sebesar 48,03 MPa, sedangkan nilai kekuatan bending terendah rata-rata terjadi pada fraksi berat 60:40 sebesar 29,82 MPa.

Hasil pengujian pada gambar 6., grafik pengujian kekuatan bending menunjukkan bahwa perbandingan persen fraksi berat antara *filler fly ash* dan matrik resin epoksi berpengaruh terhadap nilai kekuatan bending komposit. Pada variasi fraksi berat *filler fly ash* dengan matrik resin epoksi 20:80 terhadap

variasi 30:70, terjadi peningkatan kekuatan bending sebesar 14,65%.



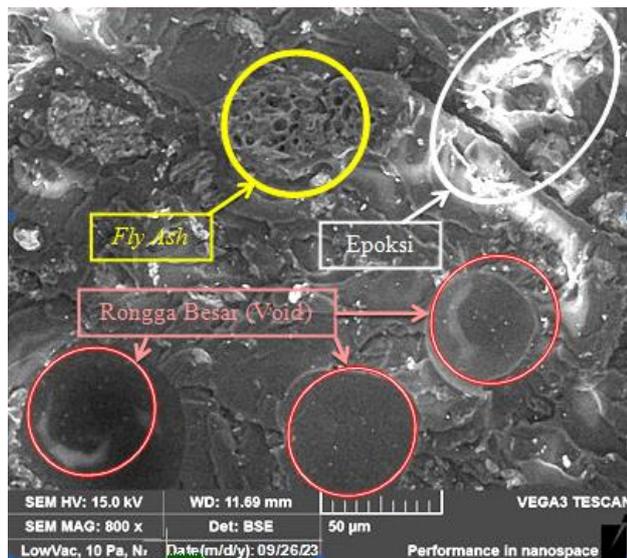
Gambar 6. Grafik kekuatan bending komposit  
 Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2023

Hal ini dapat diartikan bahwa semakin meningkat persen jumlah fraksi berat *fly ash* dibanding jumlah matrik resin epoksi, maka kekuatan komposit semakin tinggi akibat *filler fly ash* dan matrik mampu optimal mendistribusikan beban secara merata. Namun pada variasi fraksi berat *filler fly ash* dengan matrik resin epoksi 30:70 terhadap variasi berturut-turut 40:60, 50:50 dan 60:40 terjadi penurunan kekuatan bending rata-rata sebesar 17,27% atau semakin menurun persen jumlah fraksi berat *fly ash* dibanding jumlah matrik resin epoksi, maka kekuatan mekanik komposit semakin rendah, akibat *filler* (lebih dominan) dan matrik tidak mampu mendistribusikan beban secara tidak merata. Hal tersebut lebih disebabkan karena matrik resin epoksi dengan % semakin sedikit tidak mampu mengikat dan melindungi *filler fly ash* dengan baik, sehingga terbentuk potensi rongga atau pori-pori pada struktur komposit lebih banyak, yang menyebabkan kekuatan bending semakin berkurang. Kesimpulan pada pengujian bending ini bahwa kegagalan menurunnya sifat mekanik kekuatan bending pada komposit *filler fly ash*-resin epoksi disebabkan karena penguat (*filler*) atau pengikat (*matrik*) dalam % jumlah tertentu, sehingga tidak mampu optimal pada fungsinya masing-masing.

#### Analisa Foto SEM

Pengamatan permukaan patah pada komposit *fly ash*-resin epoksi fraksi berat 60:40 sebagaimana pada gambar 7., menunjukkan bahwa ikatan antara serbuk *fly ash* dengan matrik memiliki ikatan yang kurang baik sehingga matriks dan *filler* tidak tercampur secara homogen. Hal ini terlihat dari struktur komposit yang menunjukkan adanya rongga yang berukuran besar disejumlah tempat.

Rongga ini terbentuk disebabkan udara yang terjebak diantara matrik dan *filler* sehingga terjadi *void* pada struktur komposit.



Gambar 7. Permukaan patah impact FB serbuk-matrik 60:40

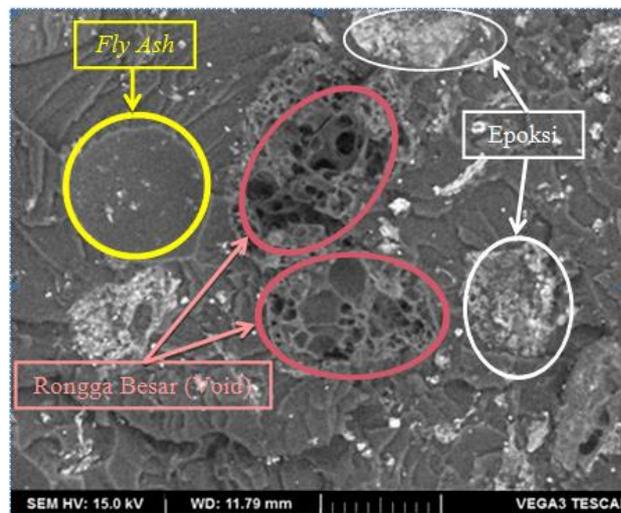
Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2023

Jumlah rongga yang ada pada struktur komposit semakin banyak dan ukurannya semakin besar, maka ketangguhan impact komposit *fly ash*-resin akan semakin rendah. Matriks dan *fly ash* tidak dapat tercampur secara merata sehingga ikatan antara *fly ash* dan resin tidak menghasilkan kekuatan yang optimal.

Rongga yang terbentuk pada struktur komposit disebabkan ketidakmampuan *filler fly ash* dalam mengisi ruang-ruang kosong serta melemahnya ikatan matriks, sehingga jumlah rongga semakin banyak. Fenomena tersebut yang menyebabkan menurunnya kekuatan mekanik sekaligus menjadi awal terjadinya perpatahan komposit *fly ash*-resin, sebagaimana hasil penelitian (A Nurhidayat, 2020) serbuk sekam padi, (Achmad Nurhidayat, 2021) serbuk tempurung kelapa dan (Achmad Nurhidayat et al., 2022) fraksi volume serbuk tempurung kelapa.

Pengamatan permukaan patah pada komposit *fly ash*-resin epoksi fraksi berat 30:70 pada gambar 8., menunjukkan bahwa ikatan antara serbuk *fly ash* dan matrik memiliki ikatan yang baik. Hal ini ditandai dengan penampakan rongga atau pori-pori dalam ukuran sangat kecil dengan jumlah yang relatif sedikit bahkan hampir tidak terlihat pada struktur komposit. Penyebaran matrik dan *filler* berlangsung lebih merata, sehingga *filler* dapat terikat dan terlindungi secara optimal.

Permukaan struktur komposit menjadi lebih rata, artinya kekuatan mekanik yang dihasilkan semakin tinggi, dikuatkan pada permukaan patah menunjukkan komposisi *filler* dan matrik lebih homogen.



Gambar 8. Permukaan patah impact FB serbuk-matrik 40:60

Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2023.

Keberadaan rongga yang semakin berkurang akan berpengaruh pada berkurangnya peluang terjadinya retakan awal, yang akan berkembang menjadi perpatahan. Berkurangnya peluang terjadinya perpatahan akan menghasilkan nilai ketangguhan impact yang tinggi, sebagaimana hasil penelitian (A Nurhidayat, 2020) serbuk sekam padi, (Achmad Nurhidayat, 2021) serbuk tempurung kelapa dan (Achmad Nurhidayat et al., 2022) fraksi volume serbuk tempurung kelapa.

## PENUTUP

Berdasarkan penelitian dan analisa data hasil pengujian kekuatan mekanik komposit *Fly ash*-resin, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Semakin meningkat prosen jumlah fraksi berat *fly ash* dibanding jumlah matrik resin epoksi, maka kekuatan mekanik komposit semakin tinggi, namun pada variasi fraksi berat tertentu dengan meningkatnya prosen jumlah fraksi berat *fly ash* dibanding jumlah matrik resin epoksi menghasilkan kekuatan mekanik komposit semakin rendah. Nilai kekuatan mekanik optimal pada uji impact dan uji *bending* komposit *fly ash*-resin epoksi terjadi pada fraksi berat 30:70.
2. Pengamatan foto SEM permukaan patahan spesimen uji impact fraksi berat *fly ash*-resin epoksi 30:70, menunjukkan ikatan yang

lebih baik antara *filler* dan matrik dibanding variasi lainnya, adanya rongga atau pori-pori dalam ukuran sangat kecil dengan jumlah yang relatif sedikit, penyebaran matrik dan *filler* berlangsung lebih merata, berdampak peluang terjadinya inisiasi patah lebih kecil sehingga menghasilkan nilai ketangguhan dampak yang tinggi,

3. Hasil pengujian ketangguhan dampak lebih tinggi komposit *filler fly ash*-resin epoksi fraksi berat 30:70, dibanding bahan mika akrilik dan bahan triplek dengan dimensi sama, sehingga berdasar hasil uji tersebut diketahui bahwa komposit *filler fly ash*-resin epoksi sangat berpotensi dipakai sebagai panel/sekat *magazine* mesin winding, pengganti material sebelumnya.

### Saran

Penulis memberikan saran kepada peneliti selanjutnya untuk menambahkan *filler* serat panjang supaya kekuatan mekanik komposit lebih meningkat.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan rasa terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mendanai dan semua pihak yang membantu hingga terselesainya penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Fawaid, M., Rasyid Noor, F. M., & Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Jl Jendral, J. (2015). Variasi Campuran Fly Ash Batubara Untuk Material Komposit. *Flywheel Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 1(1), 90–102.
- Fema, J. (2013). Pengaruh Ukuran Fly Ash Pada Kekuatan Bending *Jurnal FEMA*, Volume 1, Nomor 4, Oktober 2013. 1, 49–52.
- Hamzah, M. S., Sam, A., & Hidayat, N. (2015). Kekuatan Bending dan Impak Komposit Clay / Fly ash Untuk Aplikasi Fire Brick. *Snttm Xiv*, 7–8.
- Mulyadi, M., & Alphanoda, A. F. (2017). Analisis Kualitas Serbuk Sabut Kelapa sebagai Bahan Pembuatan Papan Partikel. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 1(1), 15.  
<https://doi.org/10.31544/jtera.v1.i1.2016.15-22>
- Nurhidayat, A. (2020). Kajian Variasi Matrik Komposit Serbuk Sekam Padi Limbah Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Teknosains Kodepena*, 01(01), 29–36.

<https://jtk.kodepena.org/index.php/jtk/article/view/5>

- Nurhidayat, Achmad. (2016). Prosiding SNATIF 3, UMK. *SNATIF*, 3(Komposit), 159–166.  
<https://jurnal.umk.ac.id/index.php/SNA/article/view/643/0>
- Nurhidayat, Achmad. (2021). Analisis Variasi Ketebalan Core Komposit Sandwich Serbuk Tempurung Kelapa Limbah Terhadap Sifat Mekanik. *Teknika*, 7(1), 21–27.  
<https://doi.org/10.52561/teknika.v7i1.121>
- Nurhidayat, Achmad, Wijoyo, W., & Irnawan, D. (2022). Kajian Fraksi Volume Serat Komposit Tangkai Ilalang Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Teknosains Kodepena*, 2(2 SE-Articles), 20–26.  
<https://www.jtk.kodepena.org/index.php/jtk/article/view/43>
- Permatasari, R., Sodri, A., & Gustina, H. A. (2023). Utilization of Fly Ash Waste in the Cement Industry and its Environmental Impact: A Review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(9), 569–579.  
<https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i9.4504>
- Samosir, G. B. G., & Har, R. (2021). Pemanfaatan Fly Ash Bottom Ash Dan Tawas Untuk Menetralkan Air Asam Tambang. *Jurnal Bina Tambang*, 6(4), 102–111.
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 17, 1–8.  
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3556>
- Singla, M., & Chawla, V. (2010). Mechanical Properties of Epoxy Resin – Fly Ash Composite. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 09(03), 199–210.  
<https://doi.org/10.4236/jmmce.2010.93017>
- Slamet, S. (2013). Karakterisasi komposit dari serbuk gergaji kayu (*sawdust*) dengan proses hotpress sebagai bahan baku papan partikel. *Prosiding SNST*, 4, 1–9.
- Tri-Dung Ngo. (2020). *Introduction to Composite Materials. Composite and Nanocomposite Materials - From Knowledge to Industrial Applications*.  
<https://doi.org/10.5772/intechopen.80186>
- Umboh, A. H., & Marthin D. J. Sumajouw, R. S. W. (2014). Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Dari PLTU li Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. 2(7), 352–358.

Wijaya, R. A., Wijayanti, S., & Astuti, Y. (2021).  
*Fly Ash* Limbah Pembakaran Batubara  
sebagai Zat Mineral Tambahan (*Additive*)  
untuk Perbaikan Kualitas dan Kuat Tekan  
Semen. *Media Komunikasi Teknik Sipil*,  
27(1), 127–134.