

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH KOMPOSISI SERBUK BESI DALAM RESIN EPOKSI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN MORFOLOGI MATERIAL KOMPOSIT

Achmad Sigit Nugroho¹, Ismi Choirotin^{2*}, Cepi Yazirin³

¹*Teknik Mesin, Universitas Islam Malang* 22101052068@unisma.ac.id

²*Teknik Mesin, Universitas Islam Malang* ismi.choirotin@unisma.ac.id

³*Teknik Mesin, Universitas Islam Malang* cepiyazirin10@unisma.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi kadar serbuk besi terhadap karakteristik mekanik dan morfologi patahan komposit berbasis resin epoksi. Parameter yang dianalisis meliputi kekuatan tarik, kekerasan, serta struktur morfologi guna menentukan komposisi serbuk besi yang memberikan performa material paling baik. Serbuk besi yang digunakan memiliki ukuran partikel lolos ayakan mesh 100 (<300 μm) dan dicampurkan ke dalam resin epoksi dengan variasi komposisi sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% berdasarkan fraksi berat. Pengujian tarik dilakukan sesuai standar ASTM D638 menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM), sedangkan pengujian kekerasan mengacu pada ASTM D2240 dengan metode *Shore D*. Seluruh data hasil pengujian dianalisis menggunakan uji statistik *One-Way ANOVA* pada tingkat signifikansi 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan komposisi serbuk besi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik komposit epoksi. Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada spesimen tanpa penambahan serbuk besi (0%), yaitu sebesar 40,175 MPa, sedangkan nilai kekerasan maksimum dicapai pada komposisi 10% serbuk besi, yaitu sebesar 80,33 *Shore D*. Pengamatan morfologi patahan mengindikasikan bahwa peningkatan kadar serbuk besi menyebabkan terjadinya sedimentasi partikel, terbentuknya rongga (*void*), serta distribusi filler yang kurang homogen. Kondisi tersebut mengakibatkan penurunan kemampuan material dalam menahan beban tarik. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, komposisi 10% serbuk besi merupakan komposisi yang paling optimum karena mampu menghasilkan nilai kekerasan tertinggi dengan tetap mempertahankan sifat mekanik komposit pada kondisi yang baik.

Kata kunci: Komposit, Serbuk Besi, Epoksi, Morfologi

ABSTRACT

This study investigated the influence of iron powder content on the mechanical properties and fracture morphology of epoxy resin composites. The evaluation focused on tensile strength, hardness, and fracture characteristics to determine the iron powder composition that provides the optimum mechanical performance. Iron powder with particle sizes passing a 100-mesh sieve (<300 μm) was incorporated into epoxy resin at weight fractions of 0%, 10%, 20%, and 30%. Tensile testing was performed in accordance with ASTM D638 using a Universal Testing Machine (UTM), while hardness measurements were conducted using the Shore D method following ASTM D2240. The experimental data were statistically analyzed using a one-way ANOVA at a significance level of 5%. The results demonstrated that variations in iron powder composition significantly affected the mechanical behavior of the epoxy composites. The highest tensile strength, 40.175 MPa, was achieved by the specimen without iron powder addition (0%), whereas the maximum hardness, 80.33 Shore D, was obtained at an iron powder content of 10 wt%. Fracture morphology observations revealed that increasing the iron powder concentration promoted particle sedimentation, void formation, and non-uniform filler distribution, which consequently reduced the tensile performance of the composite. Overall, the composite containing 10 wt% iron powder exhibited the most favorable performance by providing the highest hardness while maintaining satisfactory mechanical properties..

Keywords: Composite, Iron Powder, Epoxy, Morphology

PENDAHULUAN

Komposit berbasis resin epoksi merupakan salah satu material yang banyak dimanfaatkan pada berbagai bidang rekayasa karena memiliki kemampuan adhesi yang baik, ketahanan terhadap berbagai zat kimia, serta proses manufaktur yang relatif sederhana dan ekonomis [7], [9]. Meskipun demikian, resin epoksi memiliki keterbatasan berupa sifat yang cenderung getas sehingga kemampuan menahan beban mekanik masih perlu ditingkatkan. Salah satu pendekatan yang umum dilakukan untuk mengatasi kelemahan tersebut adalah dengan menambahkan material pengisi (*filler*) ke dalam matriks resin [10], [12]. Di antara berbagai jenis *filler* yang tersedia, serbuk besi menjadi alternatif yang menarik karena memiliki tingkat kekerasan tinggi, mudah diperoleh, serta berpotensi meningkatkan karakteristik mekanik komposit, khususnya kekuatan dan kekerasan material.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan serbuk besi memberikan pengaruh terhadap performa mekanik komposit epoksi. Hasil penelitian sebelumnya melaporkan bahwa penggunaan serbuk besi cor mampu meningkatkan nilai kekerasan hingga sekitar 11% dan kekuatan tarik sekitar 24% [10]. Namun demikian, peningkatan kandungan *filler* juga dilaporkan menyebabkan penurunan kekuatan lentur akibat meningkatnya sifat getas material. Penelitian lain mengungkapkan bahwa penambahan serbuk besi dalam jumlah tertentu dapat meningkatkan kekerasan komposit, tetapi apabila fraksi *filler* terlalu tinggi, kekuatan tarik cenderung mengalami penurunan. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti homogenitas distribusi partikel, ukuran *filler* yang digunakan, serta kualitas ikatan antarmuka antara partikel pengisi dan matriks epoksi.

Berdasarkan berbagai temuan tersebut, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi pengaruh variasi fraksi berat serbuk besi terhadap sifat mekanik dan karakteristik morfologi komposit resin epoksi. Kajian ini diharapkan mampu menentukan komposisi *filler* yang memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan tarik dan kekerasan. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh variasi kandungan serbuk besi terhadap kekuatan tarik, kekerasan, serta morfologi patahan komposit berbasis resin epoksi sebagai dasar pengembangan material komposit dengan performa mekanik yang lebih optimal.

Rumusan Masalah

Penelitian ini disusun untuk menjawab beberapa pertanyaan berikut.:

1. Bagaimana pengaruh variasi campuran serbuk besi terhadap kekuatan tarik dan kekerasan komposit resin epoksi?
2. Berapa persen komposisi serbuk besi yang memberikan sifat mekanik optimal terhadap kekuatan tarik dan kekerasan?
3. Bagaimana pengaruh variasi campuran serbuk

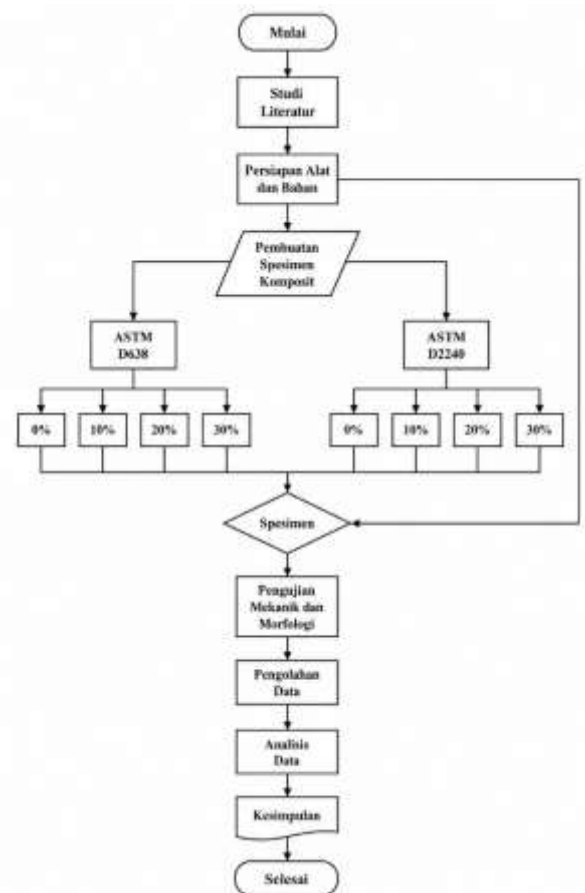
besi terhadap morfologi patahan komposit resin epoksi?

METODE

Tempat dan Waktu

Proses pembentukan spesimen dilaksanakan di workshop pribadi di kediaman penulis, dan untuk pengambilan data ini dilakukan di laboratorium perlakuan dan pengujian bahan teknik mesin Universitas Politeknik Negri Malang. Adapun pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 26 – 27 Januari 2026 dan 10 – 11 April 2026.

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Rancangan Penelitian

Variabel Penelitian

- Variabel bebas dalam penelitian ini adalah: Persentase berat serbuk besi dalam komposit (10%, 20%, dan 30%).
- Variabel Terikat
Dalam hal ini variabel terikatnya adalah besarnya nilai kekuatan tarik, kekerasan dan morfologi.
- Variabel Kontrol
penelitian ini menggunakan variabel kontrol, yaitu:
 1. 0%
 2. Jenis resin epoksi dan *hardener*.

- Ukuran partikel serbuk besi mesh 100 ($<300\text{ }\mu\text{m}$).
- Proses pencampuran dan pencetakan.

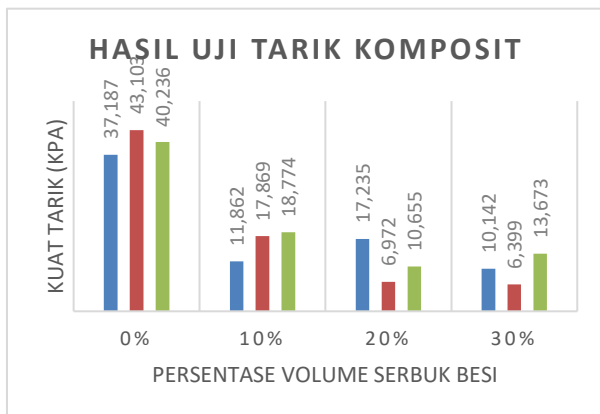
ANALISA DATA

Seluruh spesimen diuji menggunakan pengujian tarik dan pengujian kekerasan sesuai standar yang telah ditetapkan. Data hasil pengujian selanjutnya diolah menggunakan analisis statistik untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi serbuk besi terhadap sifat mekanik komposit.

Analisis dilakukan dengan *One-Way Analysis of Variance* (ANOVA) pada tingkat signifikansi 5%. Pengujian ini digunakan untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai kekuatan tarik maupun kekerasan akibat perubahan kandungan serbuk besi dalam matriks epoksi. Selain itu, analisis juga didukung dengan pengamatan morfologi permukaan patahan guna menjelaskan mekanisme kerusakan yang terjadi pada setiap variasi spesimen..

Variasi Serbuk Besi	Spesimen Uji Tarik (KPa)			Rata – Rata
	1	2	3	
0%	37,187	43,103	40,236	40,17533
10%	11,862	17,869	18,774	16,16833
20%	17,235	6,972	10,655	11,62067
30%	10,142	6,399	13,673	10,05133

Tabel 1. Data Hasil Uji Tarik



Gambar 1 . Grafik Hasil Uji Tarik

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 1 dan gambar 1, spesimen tanpa penambahan serbuk besi (0%) menghasilkan nilai kekuatan tarik paling tinggi, yaitu 40,175 MPa. Sebaliknya, peningkatan fraksi berat serbuk besi hingga 10%, 20%, dan 30% menyebabkan penurunan nilai kekuatan tarik secara berturut-turut. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa peningkatan jumlah filler tidak selalu memberikan peningkatan terhadap kemampuan mekanik komposit. Pada kandungan filler yang lebih tinggi, distribusi partikel di dalam matriks epoksi menjadi kurang homogen sehingga terbentuk konsentrasi tegangan yang mempercepat terjadinya kerusakan material. Akibatnya, kemampuan komposit dalam menahan beban tarik mengalami penurunan dibandingkan spesimen tanpa filler

- Waktu curing dan suhu ruang.

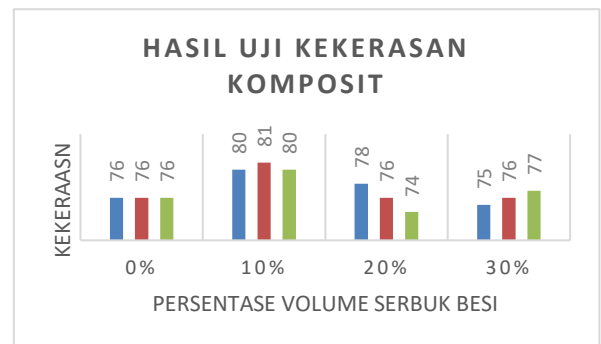
Source of variance	Sum of square	df	MS	Fhit	p-Value	Fcrit
Between groups	1769,792	3	589.93	37,24	0,0000477	4,7
Within groups	126,7008	8	15,837			
Total	1896,492	11				

Tabel 2. Data Hasil ANOVA Uji Tarik

Analisis menggunakan *One-Way ANOVA* menunjukkan bahwa nilai Fhitung sebesar 37,24874, sedangkan Ftabel sebesar 4,066181. Karena nilai Fhitung lebih besar daripada Ftabel, hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa variasi komposisi serbuk besi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik komposit resin epoksi pada tingkat signifikansi 5%. Dengan demikian, perubahan kadar serbuk besi di dalam matriks epoksi terbukti memengaruhi kemampuan material dalam menerima pembebanan tarik.

Variasi Serbuk Besi	Spesimen Uji Kekerasan			Rata Rata
	1	2	3	
0%	76	76	76	76
10%	80	81	80	80,33
20%	78	76	74	76
30%	75	76	77	76

Tabel 3. Data Hasil Uji Kekerasan



Gambar 2 Grafik Hasil Uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan Shore D menunjukkan bahwa penambahan serbuk besi memengaruhi nilai kekerasan komposit resin epoksi. Nilai kekerasan tertinggi tercatat pada campuran dengan 10% serbuk besi, yaitu 80,33 Shore D, sementara pada campuran 20% dan 30% nilai kekerasan mengalami penurunan. Kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan filler dalam jumlah ideal dapat meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi, sedangkan penambahan filler yang terlalu banyak dapat menyebabkan sebaran partikel yang tidak merata, terbentuknya gumpalan, dan rongga, yang akhirnya mengurangi efektivitas penguatan material.

Hasil ini konsisten dengan studi sebelumnya yang mengungkapkan bahwa kombinasi filler yang ideal menghasilkan karakteristik mekanik terbaik..

Source of variance	Sum of square	df	MS	Fhit	p-Value	Fcrit
Between groups	42,25	3	14,0833	10,56	0,00372	4,7
Within groups	10,67	8	1,333			
Total	52,9166	11				

Tabel 4. Hasil ANOVA Uji Kekerasan

Jumlah kuadrat dalam kategori (SSB) mencatat nilai 42,25, sedangkan untuk kategori luar atau kesalahan (SSW) tercatat 10,66666. Selanjutnya, F Hitung mencapai 10,5625, diikuti dengan nilai F tabel sebesar 4,066181. Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima, yang berarti bahwa variasi persentase penambahan serbuk besi memiliki dampak signifikan terhadap kekerasan material komposit berbahan dasar resin epoksi. Hasil Uji Tarik tanpa campuran serbuk besi



Hasil uji tarik dengan volume serbuk besi 10%



Hasil uji tarik dengan volume serbuk besi 20%



Hasil uji tarik dengan valume serbuk besi 30%



- Analisis Morfologi Spesimen 0% Serbuk Besi**
 Analisis morfologi pada spesimen tanpa penambahan serbuk besi (0 wt%) menunjukkan permukaan patahan yang cukup halus dan seragam. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme kerusakan didominasi oleh matriks epoksi yang memiliki sifat getas. Tidak ada partikel penguat atau rongga akibat pengeluaran filler, sehingga proses perambatan retak berjalan lebih mudah. Permukaan patahan yang rata menunjukkan bahwa kemampuan material untuk menahan propagasi retak masih terbatas, sehingga karakteristik mekanik komposit didasarkan sepenuhnya pada spesifikasi resin epoksi.
- Analisis Morfologi Spesimen 10% Serbuk Besi**
 Pada spesimen dengan penambahan serbuk besi 10 wt%, distribusi partikel filler terlihat cukup merata dalam matriks epoksi. Ikatan antara filler dan matriks berlangsung dengan baik, sehingga hanya sedikit rongga dan fenomena *pull-out* yang terdeteksi. Sebaran partikel yang relatif homogen mampu memperlambat perambatan retak serta meningkatkan daya dukung material terhadap beban. Keadaan morfologi ini sejalan dengan peningkatan nilai kekuatan tarik dan kekerasan bila dibandingkan dengan spesimen tanpa filler..
- Analisis Morfologi Spesimen 20% Serbuk Besi**
 Spesimen yang mengandung serbuk besi 20 wt% menunjukkan bahwa distribusi filler masih cukup merata meski jumlah partikel yang terdapat lebih banyak dibandingkan spesimen 10 wt%. Luas area kontak antara filler dan matriks meningkat dan memperlancar proses transfer beban. Meskipun mulai tampak aglomerasi partikel di beberapa tempat, volumenya masih terbilang kecil dan tidak menyebabkan penurunan yang signifikan terhadap sifat mekanik. Morfologi ini menunjukkan bahwa komposisi 20 wt% masih berada dalam rentang optimal untuk membentuk struktur komposit yang baik.
- Analisis Morfologi Spesimen 30% Serbuk Besi**
 Pengamatan morfologi pada spesimen dengan penambahan serbuk besi 30 wt% menampilkan adanya aglomerasi partikel yang lebih jelas disertai dengan terbentuknya rongga di beberapa bagian matriks. Konsentrasi filler yang tinggi telah menyebabkan distribusi partikel menjadi kurang merata, sehingga ikatan antara matriks dan filler melemah. Selain itu, muncul tanda-tanda *debonding* dan pengeluaran partikel, yang menunjukkan bahwa sebagian partikel terlepas dari matriks karena lemahnya adhesi antarmuka. Kondisi ini

menimbulkan konsentrasi tegangan yang mempercepat perambatan retak dan berkontribusi terhadap pengurangan sifat mekanik komposit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi kandungan serbuk besi memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik mekanik komposit berbasis resin epoksi. Spesimen tanpa penambahan serbuk besi (0 %) menghasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi, yaitu sebesar 40,175 MPa. Sebaliknya, nilai kekerasan maksimum diperoleh pada komposisi 10% serbuk besi, dengan rata-rata sebesar 80,33 Shore D.

Penambahan serbuk besi hingga 10 wt% mampu meningkatkan kekerasan komposit karena partikel filler masih terdistribusi dengan baik di dalam matriks epoksi. Akan tetapi, peningkatan kadar filler menjadi 20 % dan 30 % menyebabkan penurunan performa mekanik. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh distribusi partikel yang semakin tidak homogen, terbentuknya rongga (*void*), terjadinya aglomerasi, serta melemahnya ikatan antarmuka antara matriks dan filler. Akibatnya, kemampuan material dalam menahan pembebanan, terutama beban tarik, mengalami penurunan. Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian, komposisi 10% serbuk besi dapat dianggap sebagai komposisi yang paling optimum karena mampu memberikan peningkatan kekerasan tanpa menyebabkan penurunan sifat mekanik yang signifikan.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, beberapa hal berikut dapat dijadikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya maupun proses pembuatan komposit;

1. Selama proses fabrikasi komposit, perlu dilakukan upaya untuk meminimalkan terbentuknya gelembung udara (*void*) agar kualitas spesimen meningkat dan hasil pengujian menjadi lebih konsisten.
2. Untuk mengurangi sedimentasi serbuk besi selama proses pencampuran, disarankan menggunakan bahan pengental (*thickening agent*) pada resin epoksi. Apabila proses pembuatan dilakukan dengan metode Hand Lay-Up, resin sebaiknya diaplikasikan secara bertahap menggunakan kuas sehingga penyebaran filler menjadi lebih merata dan ikatan antara matriks dengan partikel pengisi dapat terbentuk secara lebih optimal.
3. Penelitian berikutnya disarankan menggunakan variasi ukuran partikel serbuk besi maupun metode pencampuran yang berbeda agar pengaruh ukuran partikel terhadap sifat mekanik dan morfologi komposit dapat dianalisis secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASM International. (2000). *ASM Handbook Volume 8: Mechanical Testing and Evaluation*. ASM International.
- [2]. ASTM International. (2021). ASTM D638-14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [3]. ASTM International. (2021). ASTM D2240-15 Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [4]. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- [5]. Cieślak, R., Figiel, P., Kwiatkowski, K., Dobrowolski, D., Urbaniak, M., & Biedunkiewicz, A. (2024). *Epoxy Composites with Post-Production Gray Cast-Iron Powders*. *Materials*, 17(17), 4333. <https://doi.org/10.3390/ma17174333>
- [6]. Gibson, R. F. (2016). *Principles of Composite Material Mechanics* (4th ed.). CRC Press.
- [7]. Syamsuri, N. D., Hartono, P., & Choirotin, I. (2023). Analisis fraksi volume dan orientasi susunan serat kulit batang kersen dan serat pelepah pisang dengan matrik epoxy terhadap sifat mekanik pada komposit. *Jurnal Sains dan Teknologi Teknik Mesin Unisma*, 18(5), 64–69.
- [8]. Jones, R. M. (1999). *Mechanics of Composite Materials* (2nd ed.). Taylor & Francis.
- [9]. Judran, A. A., Al-Hassani, A. H., & Abbas, S. M. (2015). Mechanical properties of epoxy reinforced with iron powder. *International Journal of Engineering Research and Applications*.
- [10]. Maharana *et.al* (2023) The Effect of Metal Filler on the Mechanical Performance of Epoxy Resin Composites, *Engineering Proceedings*.