

Analisis Simulasi Pengaruh Fraksi Volume Serbuk Aluminium terhadap Kekerasan dan Laju Keausan Komposit Epoksi

Moh Azizi Hakim¹, Erik Heriana², Fahmi Qudratullah³, Sony Sukmara⁴, Dhimas Satria⁵

^{1,2,3,4}Fakultas Teknologi dan Informatika universitas Mathla'ul Anwar Banten

⁵Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Email: *Zeehakim@gmail.com

Abstrak. Pemanfaatan material komposit berbasis polimer menjadi salah satu alternatif dalam pengembangan komponen teknik mesin yang ringan, ekonomis, dan mudah dibentuk. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serbuk aluminium terhadap kekerasan dan laju keausan komposit epoksi. Metode yang digunakan adalah simulasi perhitungan berbasis pendekatan rule of mixture termodifikasi untuk memprediksi kekerasan komposit dan model keausan spesifik untuk mengevaluasi kecenderungan ketahanan aus. Variasi fraksi volume serbuk aluminium yang dianalisis adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume serbuk aluminium meningkatkan nilai kekerasan dari 18,0 HV menjadi 24,9 HV. Selain itu, laju keausan spesifik menurun dari $3,20 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ menjadi $1,72 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Temuan ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk aluminium berpotensi meningkatkan performa mekanik komposit epoksi, terutama pada aplikasi komponen ringan yang memerlukan kekerasan dan ketahanan aus yang lebih baik.

Kata kunci: komposit epoksi; serbuk aluminium; kekerasan; keausan; material teknik

1 Pendahuluan

Material komposit merupakan salah satu kelompok material teknik yang banyak digunakan dalam bidang teknik mesin karena memiliki kombinasi sifat yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan desain [1]. Komposit umumnya terdiri atas matriks dan penguat [2]. Matriks berfungsi sebagai pengikat dan pelindung, sedangkan penguat berperan meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan, ketahanan aus, dan stabilitas dimensi [3]. Pada komponen kendaraan ringan, peralatan praktikum, serta komponen mesin non-struktural, penggunaan komposit berbasis polimer dapat menjadi alternatif karena proses pembuatannya relatif sederhana dan bobotnya lebih rendah dibandingkan material logam penuh [4].

Epoksi merupakan salah satu matriks polimer yang banyak digunakan karena memiliki daya rekat baik, ketahanan kimia yang cukup tinggi, dan mudah dikombinasikan dengan berbagai bahan penguat [5]. Salah satu penguat yang dapat digunakan adalah serbuk aluminium. Serbuk aluminium memiliki massa jenis lebih rendah dibandingkan baja, mudah diperoleh, dan dapat memberikan peningkatan kekerasan pada komposit [6]. Penambahan serbuk aluminium ke dalam matriks epoksi diharapkan mampu meningkatkan ketahanan permukaan, khususnya terhadap gesekan dan keausan [7].

Permasalahan yang sering muncul dalam pemanfaatan komposit partikel adalah penentuan fraksi penguat yang sesuai [5]. Fraksi penguat yang terlalu rendah belum memberikan pengaruh mekanik yang signifikan, sedangkan fraksi yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan aglomerasi partikel, penurunan ikatan antarmuka, dan peningkatan kerapuhan. Oleh karena itu, diperlukan analisis awal untuk memperkirakan hubungan antara fraksi volume serbuk aluminium, kekerasan, dan laju keausan komposit epoksi [8].

Penelitian ini menyajikan simulasi sederhana untuk menganalisis pengaruh variasi fraksi volume serbuk aluminium terhadap sifat mekanik komposit epoksi. Fokus pembahasan diarahkan pada perubahan kekerasan dan kecenderungan laju keausan spesifik. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar awal dalam pemilihan komposisi material untuk pengembangan komponen teknik mesin berbahan komposit ringan.

2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis parameter material komposit. Material yang dikaji adalah komposit epoksi dengan penguat serbuk aluminium. Analisis dilakukan dengan menghitung kekerasan prediksi, massa jenis komposit, dan laju keausan spesifik pada beberapa variasi fraksi volume penguat. Tahapan penelitian meliputi penentuan parameter material, penyusunan model matematika, perhitungan numerik, penyajian grafik, dan interpretasi hasil.

Simulasi dilakukan pada lima variasi fraksi volume serbuk aluminium, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Nilai tersebut dipilih untuk menggambarkan penambahan penguat dari kondisi tanpa serbuk hingga komposit dengan kandungan serbuk cukup tinggi. Parameter simulasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi Komposit Epoksi Berpenguat Serbuk Aluminium

No	Parameter	Nilai
1	Matriks	Resin epoksi
2	Penguat	Serbuk aluminium
3	Fraksi volume serbuk aluminium	0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%
4	Kekerasan matriks epoksi (H_m)	18 HV
5	Kekerasan serbuk aluminium ekuivalen (H_f)	95 HV
6	Faktor efisiensi penguat (η)	0,45
7	Massa jenis epoksi (ρ_m)	1,15 g/cm ³
8	Massa jenis aluminium (ρ_f)	2,70 g/cm ³
9	Beban pengujian aus asumsi (F)	20 N
10	Jarak gesek asumsi (s)	500 m

2.1 Formulasi Matematika

Massa jenis komposit diperkirakan menggunakan pendekatan campuran sederhana antara matriks epoksi dan serbuk aluminium, sebagai berikut:

$$\rho_c = \rho_m(1 - V_f) + \rho_f V_f \quad (1)$$

Kekerasan komposit diprediksi menggunakan rule of mixture termodifikasi dengan mempertimbangkan faktor efisiensi penguat.

$$H_c = H_m(1 - V_f) + \eta H_f V_f \quad (2)$$

Laju keausan spesifik dihitung berdasarkan volume material yang hilang terhadap beban dan jarak gesek.

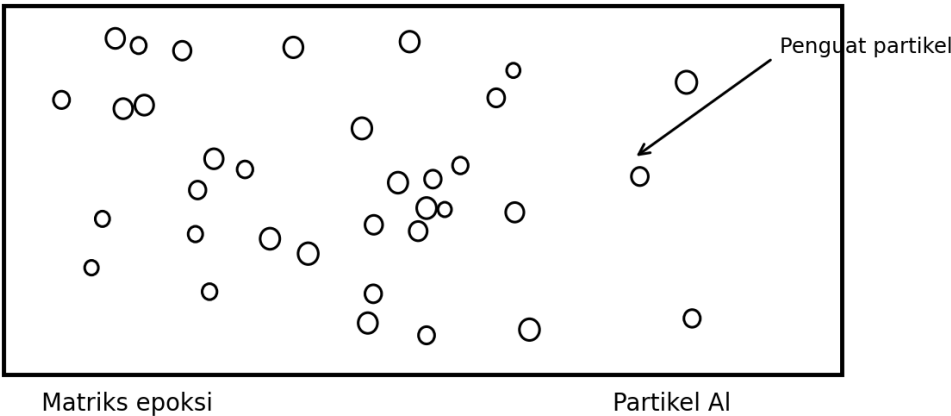
$$W_s = \Delta V / (F \cdot s) \quad (3)$$

Volume material yang hilang dapat dinyatakan berdasarkan perubahan massa dan massa jenis material.

$$\Delta V = \Delta m / \rho_c \quad (4)$$

Pada persamaan tersebut, ρ_c adalah massa jenis komposit, ρ_m adalah massa jenis matriks, ρ_f adalah massa jenis serbuk aluminium, V_f adalah fraksi volume penguat, H_c adalah kekerasan komposit, H_m adalah kekerasan matriks, η adalah faktor efisiensi penguat, W_s adalah laju keausan spesifik, ΔV adalah volume material yang hilang, F adalah beban gesek, dan s adalah jarak gesek.

Skema Komposit: Matriks Epoksi + Partikel Serbuk Aluminium



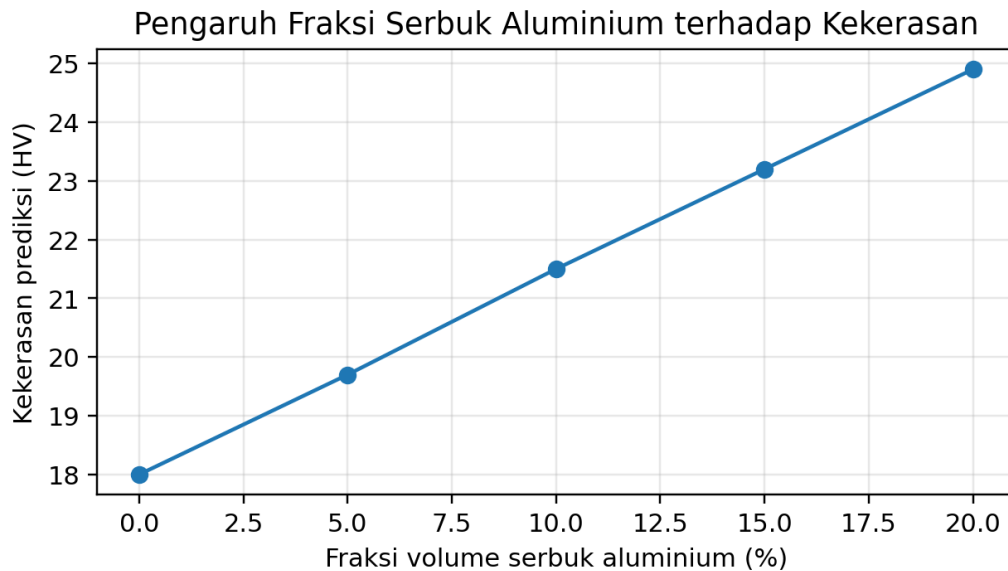
Gambar 1. Skema komposit epoksi berpenguat serbuk aluminium

3 Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan serbuk aluminium memberikan pengaruh terhadap peningkatan massa jenis, kekerasan, dan penurunan laju keausan spesifik komposit. Nilai hasil simulasi untuk masing-masing variasi fraksi volume serbuk aluminium disajikan pada Tabel 2.

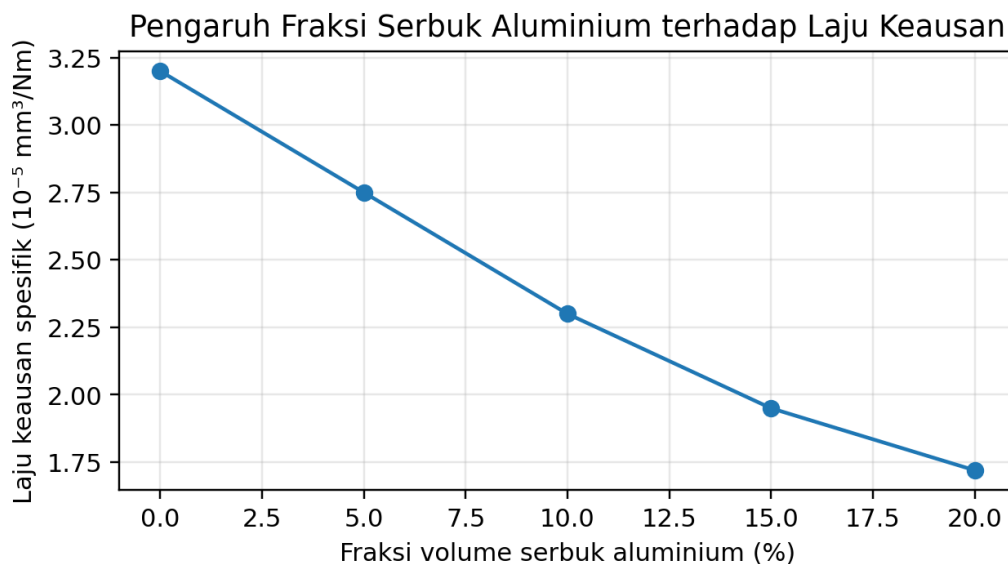
Tabel 2. Hasil Simulasi Sifat Material Komposit

Fraksi Al (%)	Massa jenis (g/cm ³)	Kekerasan (HV)	Laju keausan (10 ⁻⁵ mm ³ /Nm)	Interpretasi
0	1,15	18,0	3,20	Matriks tanpa penguat
5	1,23	19,7	2,75	Peningkatan awal
10	1,31	21,5	2,30	Komposisi cukup seimbang
15	1,38	23,2	1,95	Ketahanan aus meningkat
20	1,46	24,9	1,72	Kekerasan tertinggi



Gambar 2. Hubungan fraksi volume serbuk aluminium terhadap kekerasan komposit

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2, kekerasan komposit meningkat seiring dengan bertambahnya fraksi volume serbuk aluminium. Komposit tanpa penguat memiliki kekerasan 18,0 HV, sedangkan komposit dengan 20% serbuk aluminium mencapai 24,9 HV. Peningkatan ini terjadi karena partikel aluminium berperan sebagai fase penguat yang dapat menahan deformasi lokal pada permukaan komposit. Semakin banyak partikel penguat yang terdistribusi dalam matriks, semakin tinggi kemampuan material dalam menahan penetrasi.



Gambar 3. Hubungan fraksi volume serbuk aluminium terhadap laju keausan spesifik

Gambar 3 memperlihatkan bahwa laju keausan spesifik mengalami penurunan ketika fraksi volume serbuk aluminium meningkat. Penurunan dari $3,20 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ menjadi $1,72 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ menunjukkan bahwa penambahan serbuk aluminium dapat memperbaiki ketahanan aus permukaan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kekerasan komposit yang membuat permukaan material lebih tahan terhadap proses pengikisan akibat kontak gesek.

Meskipun peningkatan fraksi serbuk aluminium memberikan pengaruh positif terhadap kekerasan dan ketahanan aus, komposisi yang terlalu tinggi tetap perlu dikaji secara eksperimental. Pada kondisi nyata, partikel penguat dapat mengalami aglomerasi apabila proses pencampuran tidak homogen. Aglomerasi dapat menurunkan ikatan antarmuka antara matriks dan partikel sehingga material menjadi rapuh. Oleh

karena itu, fraksi 10% sampai 15% dapat dipertimbangkan sebagai rentang awal yang cukup baik karena memberikan peningkatan sifat mekanik tanpa terlalu meningkatkan risiko penggumpalan partikel.

Dari sudut pandang teknik mesin, komposit epoksi berpenguat serbuk aluminium berpotensi digunakan pada komponen ringan yang tidak menerima beban struktural sangat tinggi, seperti penutup komponen, dudukan ringan, panel pelindung, atau komponen edukasi laboratorium. Pemilihan komposisi tetap harus mempertimbangkan metode fabrikasi, ukuran partikel, distribusi penguat, serta kebutuhan kekuatan dan ketahanan aus pada aplikasi yang dituju.

4 Kesimpulan

Penelitian ini telah menyajikan simulasi pengaruh variasi fraksi volume serbuk aluminium terhadap kekerasan dan laju keausan komposit epoksi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan serbuk aluminium dari 0% sampai 20% mampu meningkatkan kekerasan komposit dari 18,0 HV menjadi 24,9 HV. Peningkatan kekerasan ini menunjukkan bahwa serbuk aluminium dapat berperan sebagai penguat partikel dalam matriks epoksi.

Selain meningkatkan kekerasan, penambahan serbuk aluminium juga menurunkan laju keausan spesifik dari $3,20 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ menjadi $1,72 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Hal ini menunjukkan bahwa komposit dengan kandungan serbuk aluminium memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan matriks epoksi tanpa penguat. Berdasarkan hasil simulasi, fraksi 10%–15% dapat dijadikan rentang awal yang layak untuk pengembangan komposit karena memberikan peningkatan sifat mekanik yang cukup baik dan tetap mempertimbangkan kemungkinan homogenitas campuran. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan pengujian eksperimental, pengamatan struktur mikro, serta variasi ukuran partikel untuk memperoleh validasi yang lebih kuat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi dan Informatika Universitas Mathla'ul Anwar Banten atas dukungan akademik dan fasilitas dalam penyusunan artikel ini.

5 Daftar Pustaka

- [1] M. A. Hakim, E. Heriana, A. Ekoprianto, S. Sukmara, and D. Susanto, "RANCANGAN SISTEM PENGEMUDI JENIS RACK AND," vol. 01, no. 02, 2022.
- [2] M. A. Hakim, E. Heriana, M. A. Hakim, S. Sukmara, and D. Susanto, "Perancangan kendaraan kampus dengan penggerak motor listrik," *Technoma*, vol. 01, no. 02, pp. 60–66, 2022.
- [3] M. A. Hakim, E. Heriana, A. Ekoprianto, S. Sukmara, and D. Susanto, "Analisis Bangun Rangka Mobil," *Technoma*, vol. 02, no. 01, pp. 3–8, 2022.
- [4] E. Heriana, M. A. Hakim, A. Ekoprianto, S. Sukmara, and D. Susanto, "Analisis Kapasitas Baterai Dan Sistem Charger," *Technoma*, vol. 02, no. 01, 2022.
- [5] R. Rizky and Z. Hakim, "Analysis and Design of Voip Server (Voice Internet Protocol) using Asterisk in Statistics and Statistical Informatics Communication of Banten Province using Ppdioo Method," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1179, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1179/1/012160.
- [6] Z. Hakim and R. Rizky, "Analisis Perancangan Sistem Informasi Pembuatan Paspor Di Kantor Imigrasi Bumi Serpong Damai Tangerang Banten Menggunakan Metode Rational Unified Process," vol. 6, no. 2, pp. 103–112, 2018.
- [7] D. Firmansyah, R. Rizky, and E. N. Susanti, "SISTEM PAKAR DIAGNOSA KERUSAKAN MESIN PADA MOTOR HONDA SCOOPY TYPE STYLISH MENGGUNAKAN METODE CERTAINTY FACTOR," vol. 14, no. 1, 2025.
- [8] R. Rizky, Z. Hakim, S. Setiyowati, and A. G. Pratama, "Implementasi metode Analitical Hierarchy Process (AHP) Untuk Pemilihan Perangkat Desa di Mandalasari Kabupaten Pandeglang," vol. 09, 2024.