

ANALISIS PERFORMA MATERIAL KOMPOSIT *BRAKE PAD* BERBASIS LIMBAH *COCOPEAT* MENGGUNAKAN *METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)*

**Nanda Yudha Bakti¹⁾ Andah Lugas Dhinata²⁾ Muhammad Rifqi Sepvian³⁾ Salma Azaria
Nugroho⁴⁾**

^{1),2)} *Politeknik Angkatan Darat, Batu Malang Jatim*

³⁾ *Politeknik Negeri Malang, Malang Jatim*

⁴⁾ *Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya Jatim*

E - mail : yudhan447@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi material ramah lingkungan dalam industri otomotif semakin meningkat, khususnya pada komponen sistem pengereman kendaraan. Kampas rem konvensional umumnya menggunakan bahan logam dan serat sintetis yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan. Salah satu alternatif material yang berpotensi digunakan sebagai bahan komposit kampas rem adalah limbah *cocopeat* yang berasal dari serbuk sabut kelapa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa material komposit *brake pad* berbasis *cocopeat* menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)*. Pemodelan geometri kampas rem dilakukan menggunakan perangkat lunak CAD dan dianalisis menggunakan *ANSYS* untuk mengetahui distribusi tegangan, deformasi, serta temperatur yang terjadi selama proses pengereman. Parameter yang digunakan meliputi sifat mekanik material, beban pengereman, serta koefisien gesek antara kampas rem dan cakram. Hasil simulasi menunjukkan bahwa material komposit *cocopeat* memiliki distribusi tegangan maksimum sebesar 42,3 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0,021 mm. Distribusi temperatur maksimum yang terjadi sebesar 185°C yang masih berada dalam batas operasi sistem pengereman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material komposit berbasis *cocopeat* memiliki potensi sebagai material alternatif kampas rem ramah lingkungan pada kendaraan bermotor.

Kata kunci: *brake pad*, *cocopeat*, *finite element analysis*, komposit, sistem pengereman

1. PENDAHULUAN

Sistem pengereman merupakan salah satu komponen keselamatan utama pada kendaraan bermotor. Fungsi utama sistem pengereman adalah memperlambat atau menghentikan laju kendaraan dengan memanfaatkan gaya gesek antara kampas rem dan cakram rem. Kampas rem yang digunakan

pada kendaraan umumnya terbuat dari material komposit yang terdiri dari campuran resin, serat penguat, bahan pengisi, serta bahan abrasif.

Material kampas rem konvensional banyak menggunakan bahan berbasis logam dan serat sintetis seperti asbestos. Penggunaan asbestos dalam kampas rem telah banyak

dikurangi karena dapat menimbulkan dampak kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu, penelitian mengenai material alternatif yang lebih ramah lingkungan menjadi sangat penting dalam pengembangan teknologi sistem pengereman kendaraan.

Salah satu bahan alami yang berpotensi digunakan sebagai material komposit adalah *cocopeat*. *Cocopeat* merupakan limbah serbuk sabut kelapa yang memiliki struktur serat alami serta sifat mekanik yang cukup baik. Selain itu, *cocopeat* memiliki ketersediaan yang melimpah di negara tropis seperti Indonesia sehingga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan penguat komposit.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa serat alami seperti serat kelapa, serat bambu, dan serat rami dapat digunakan sebagai material penguat dalam komposit kanvas rem. Namun kajian mengenai performa mekanik dan termal material komposit berbasis *cocopeat* pada sistem pengereman masih terbatas. Oleh karena itu diperlukan analisis numerik untuk mengetahui perilaku material tersebut sebelum dilakukan pengujian eksperimental.

Metode *Finite Element Analysis (FEA)* merupakan salah satu metode numerik yang banyak digunakan untuk menganalisis perilaku mekanik suatu komponen. Dengan menggunakan simulasi FEA, distribusi tegangan, deformasi, serta temperatur pada komponen kanvas rem dapat diprediksi secara lebih efisien.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa material komposit brake pad berbasis limbah *cocopeat* menggunakan metode *Finite Element Analysis* dengan perangkat lunak *ANSYS*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit Brake pad

Material komposit merupakan material yang tersusun dari dua atau lebih komponen berbeda yang digabungkan untuk menghasilkan sifat mekanik dan tribologi yang lebih baik dibandingkan material tunggal. Pada material *brake pad*, komposit umumnya terdiri dari matriks, filler, dan bahan penguat yang berfungsi meningkatkan kekuatan mekanik, stabilitas termal, dan ketahanan keausan material.

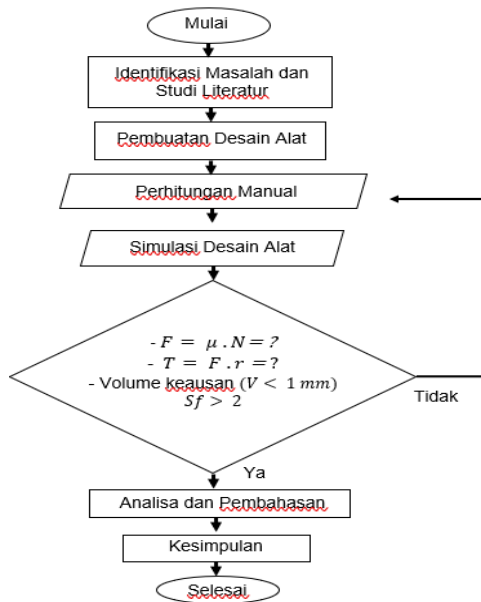
Penggunaan material komposit pada *brake pad* semakin berkembang karena material konvensional berbasis asbes memiliki dampak buruk terhadap kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu, berbagai penelitian mulai mengembangkan material komposit berbasis biomassa sebagai alternatif material brake pad ramah lingkungan.

Limbah *cocopeat* merupakan salah satu material biomassa yang memiliki potensi sebagai filler komposit brake pad karena mengandung lignoselulosa berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang mampu meningkatkan kekuatan dan kekerasan material komposit. Selain itu, *cocopeat* memiliki ketersediaan yang melimpah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai material alternatif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan **Simulasi Numerik** dengan metode *Finite Element Analysis (FEA)* untuk menganalisis performa material komposit brake pad berbasis limbah *cocopeat*. Metode ini dipilih karena mampu memprediksi perilaku mekanik dan termal suatu komponen secara akurat tanpa harus melakukan pengujian fisik secara langsung.

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang meliputi studi literatur, pemodelan geometri kampas rem, penentuan sifat material komposit, proses meshing, penentuan kondisi batas (*boundary condition*), serta proses simulasi menggunakan perangkat lunak *ANSYS*.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.1 Desain Alat Kampas Rem



Gambar 2. Desain Material Brake Pad

3.2 Studi Literatur

Tahap awal penelitian dilakukan dengan melakukan studi literatur mengenai sistem pengereman kendaraan, karakteristik material kampas rem, material komposit berbasis serat alami, serta metode analisis elemen hingga. Studi literatur dilakukan melalui berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku teknik, dan publikasi penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian.

3.3 Pemodelan Geometri Kampas Rem

Tahap berikutnya adalah pembuatan model geometri kampas rem menggunakan perangkat lunak CAD. Dimensi kampas rem yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada ukuran kampas rem kendaraan Mitsubishi Strada Triton.

Dimensi kampas rem yang digunakan adalah sebagai berikut:

Panjang	:	155,4	mm
Tinggi	:	51,2	mm
Ketebalan	:	15,5	mm

Model geometri kampas rem kemudian disederhanakan untuk mempermudah proses simulasi tanpa mengurangi karakteristik utama dari komponen tersebut.

3.4 Penentuan Properti Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material komposit berbasis limbah cocopeat yang dimodelkan sebagai material homogen isotropik. Nilai properti material yang digunakan diperoleh dari referensi penelitian sebelumnya mengenai komposit berbasis serat alami.

Parameter material yang digunakan dalam simulasi meliputi:

Modulus elastisitas	:	3,5	GPa
Poisson ratio	:	0,32	
Densitas	:	1450	kg/m ³

Konduktivitas termal : 0,45 W/mK
Koefisien gesek : 0,35

Properti material tersebut digunakan sebagai input dalam proses simulasi untuk mengetahui respon mekanik dan termal material komposit selama proses pengereman.

3.5 Proses Meshing

Setelah model geometri selesai dibuat, tahap berikutnya adalah proses meshing. Meshing merupakan proses pembagian model geometri menjadi elemen-elemen kecil yang disebut elemen hingga.

Proses meshing dilakukan menggunakan metode *tetrahedral mesh* dengan ukuran elemen yang disesuaikan agar menghasilkan keseimbangan antara akurasi hasil simulasi dan waktu komputasi. Semakin kecil ukuran elemen mesh, maka hasil simulasi yang diperoleh akan semakin akurat.

3.6 Penentuan Boundary Condition

Pada tahap ini ditentukan kondisi batas yang digunakan dalam simulasi. Kondisi batas yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gaya pengereman, kontak antara kampas rem dan cakram, serta kondisi termal yang terjadi selama proses pengereman.

Parameter simulasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Beban pengereman : 2500 N
Koefisien gesek : 0,35
Temperatur awal : 30°C
Jenis kontak : frictional contact

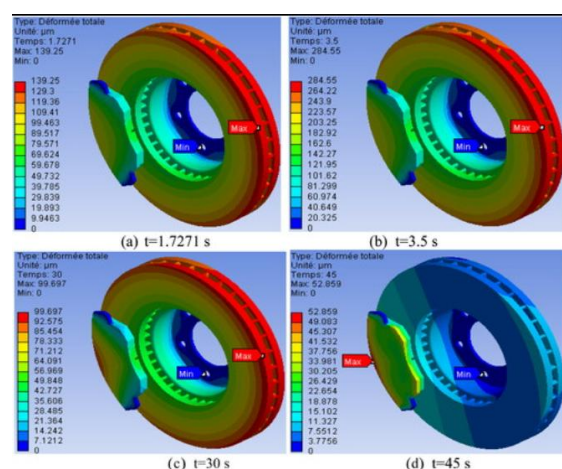
Kontak antara kampas rem dan cakram dimodelkan sebagai kontak gesekan (frictional contact) yang memungkinkan terjadinya transfer gaya gesek dan panas selama proses pengereman.

3.7 Proses Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan modul *Static Structural* untuk menganalisis distribusi tegangan dan deformasi, serta modul *Thermal*

Analysis untuk mengetahui distribusi temperatur pada kampas rem.

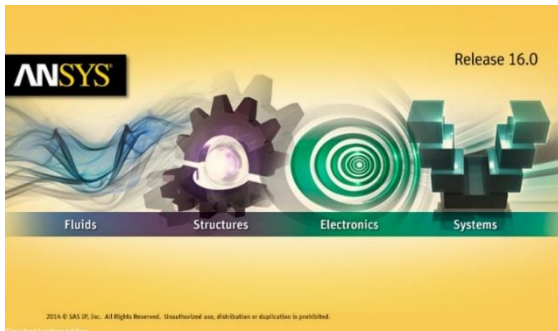
Proses simulasi dilakukan dengan memasukkan seluruh parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil simulasi kemudian dianalisis untuk mengetahui nilai tegangan maksimum, deformasi maksimum, serta temperatur maksimum yang terjadi pada material komposit brake pad berbasis cocopeat.



Gambar 3. Perhitungan Gaya Reaksi Hasil FEA

3.8 Software Ansys.

Merupakan sebuah *software* yang berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) dan sering digunakan untuk simulasi struktur, panas, dinamika fluida, akustik, dan elektromagnetik pada suatu benda agar dapat mengetahui karakteristik dan deformasi akibat pengaruh gaya yang dibebankan pada suatu benda. *Ansys* bekerja dengan sistem metode elemen hingga (*finite element analysis*), dimana penyelesaiannya pada suatu objek dilakukan dengan memecah satu rangkaian menjadi bagian yang lebih kecil kemudian dihubungkan dengan *node* dan disimulasikan.



Gambar 4. *Software Ansys R16.0.*

1. HASIL PENELITIAN

Hasil simulasi Finite Element Analysis menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada kampas rem tidak merata dan cenderung terkonsentrasi pada area kontak antara kampas rem dan cakram.

Nilai tegangan maksimum yang diperoleh dari hasil simulasi adalah sebesar 42,3 MPa. Tegangan maksimum tersebut terjadi pada bagian tepi permukaan kampas rem yang mengalami kontak langsung dengan cakram rem selama proses pengereman.

Distribusi deformasi yang terjadi pada kampas rem menunjukkan bahwa deformasi maksimum sebesar 0,021 mm terjadi pada bagian tengah kampas rem akibat tekanan kontak yang diberikan oleh cakram rem.

Selain analisis mekanik, dilakukan juga analisis termal untuk mengetahui distribusi temperatur pada kampas rem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur maksimum yang terjadi pada permukaan kampas rem mencapai 185°C selama proses pengereman.

Temperatur tersebut masih berada dalam batas aman operasi material komposit sehingga tidak menyebabkan kerusakan struktural pada kampas rem.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh, dapat diketahui bahwa material komposit berbasis limbah *cocopeat* memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menahan beban pengereman yang terjadi pada sistem rem cakram.

Distribusi tegangan maksimum sebesar 42,3 MPa masih berada di bawah batas kekuatan tarik material komposit berbasis serat alami yang umumnya berada pada kisaran 50–70 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa material komposit *cocopeat* masih mampu menahan gaya pengereman tanpa mengalami kegagalan struktur.

Nilai deformasi maksimum sebesar 0,021 mm juga menunjukkan bahwa material.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian material dan simulasi Finite Element Analysis (FEA) yang telah dilakukan terhadap material komposit brake pad berbasis limbah *cocopeat*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

4.1

Hasil pengujian material menunjukkan bahwa material komposit brake pad berbasis limbah *cocopeat* memiliki karakteristik mekanik yang cukup baik. Sampel C memiliki performa terbaik dibandingkan sampel lainnya dengan nilai densitas sebesar 7,271 gr/cm³, kekerasan sebesar 64,7 Shore D, tensile strength sebesar 23,35 MPa, yield strength sebesar 19,23 MPa, dan Young's Modulus sebesar 445,36 MPa. Nilai tersebut menunjukkan bahwa material memiliki kemampuan yang baik dalam menerima pembebanan mekanik pada sistem pengereman.

4.2

Hasil simulasi static structural menggunakan software ANSYS menunjukkan bahwa distribusi tegangan, regangan, deformasi, dan tekanan kontak masih berada dalam batas aman terhadap pembebanan pengereman. Nilai Von Mises Stress maksimum sebesar 0,0260619 MPa, displacement maksimum sebesar 0,0000494803 mm, equivalent strain sebesar $3,62285 \times 10^{-7}$, dan contact pressure maksimum sebesar 0,0197384 MPa menunjukkan bahwa material masih mampu mempertahankan kestabilan struktur selama proses pengereman.

4.3

Hasil simulasi thermal menunjukkan bahwa temperatur maksimum pada sistem pengereman mencapai $386,7^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur rata-rata sebesar $152,3^{\circ}\text{C}$. Distribusi temperatur tertinggi terjadi pada area kontak antara brake pad dan disc brake akibat gesekan selama proses pengereman. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem pengereman menghasilkan panas yang cukup tinggi namun masih dapat dianalisis secara stabil menggunakan metode thermal analysis pada ANSYS.

4.4

Berdasarkan hasil pengujian mekanik dan simulasi numerik yang telah dilakukan, material komposit brake pad berbasis limbah cocopeat memiliki potensi yang baik sebagai alternatif material brake pad ramah lingkungan karena mampu menunjukkan performa mekanik, tribologi, dan termal yang cukup baik pada sistem pengereman.

5. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

5.1

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi komposisi cocopeat dan resin terhadap karakteristik mekanik, tribologi, dan termal material brake pad untuk memperoleh komposisi material yang lebih optimal.

5.2

Perlu dilakukan pengujian eksperimental secara langsung terhadap performa pengereman, ketahanan keausan, dan distribusi temperatur pada brake pad berbasis cocopeat agar hasil penelitian lebih mendekati kondisi pengereman sebenarnya.

5.3

Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data properti termal material yang lebih lengkap seperti konduktivitas termal, specific heat, dan thermal expansion coefficient agar hasil simulasi thermal menggunakan ANSYS menjadi lebih akurat.

5.4

Perlu dilakukan variasi pembebanan, kecepatan putar, dan tekanan pengereman pada simulasi *Finite Element Analysis (FEA)* agar distribusi tegangan dan temperatur dapat dianalisis pada berbagai kondisi pengereman kendaraan.

5.5

Material komposit brake pad berbasis limbah cocopeat memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai material brake pad ramah lingkungan sehingga diperlukan penelitian lanjutan mengenai optimasi material dan proses manufaktur untuk meningkatkan performa dan daya tahan material.

DAFTAR PUSTAKA

- Belhocine, A. (2019). Finite element analysis of automotive disc brake system. *Journal of Mechanical Engineering*.
- Cho, M. H. (2020). Tribological characteristics of brake pad materials. *Wear Journal*.
- Eriksson, M., & Bergman, F. (2018). Friction and wear of brake materials. *Tribology International*.
- Kumar, R. (2021). Composite materials for brake pad applications. *Materials Today*.
- Rahman, F. (2022). Thermal analysis of automotive brake systems. *International Journal of Automotive Engineering*. Baroji dan
- Hadi, S. (2020). Analisis keausan kampas rem komposit berbasis serat alami. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Zhang, Y. (2023). Wear behaviour of brake pad composite materials. *Tribology Research*.
- Wang, L. (2022). Thermo-mechanical analysis of brake pad using finite element method. *Engineering Simulation*.
- Singh, P. (2021). Natural fiber reinforced composite for brake pad applications. *Materials Science Journal*.
- Abdullah, M. (2019). Pengembangan material kampas rem non-asbestos. *Jurnal Material Teknik*.
- Hidayat, T. (2023). Pengaruh tekanan pengereman terhadap distribusi tegangan kampas rem. *Jurnal Teknik Otomotif*.
- Gunawan, D. (2021). Studi tribologi material brake pad kendaraan bermotor. *Jurnal Rekayasa Mesin*.