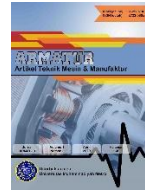


Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Sifat Mekanik dan *Thermal Analysis* Desain Produk Kampas Rem Ramah Lingkungan Berbasis TKKS untuk Aplikasi Industri Otomotif****Mahruri Arif Wicaksono^{1*}, Musaddad Alfani², Eka Rachmadi Endarta Putra³, Frieska Ariesta Syafnijal⁴, Putri Aysha Qalbi⁵, Muhammad Faishal Jundana Muttaqin⁶**

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung 35365, Indonesia

**A R T I C L E
I N F O**

Keywords:
Kampas rem
TKKS
Industri otomotif
Distribusi panas
Finite Element Analysis
(FEA)

A B S T R A C T

The problem of abundant empty oil palm bunches (OPEFB) waste that has not been optimally utilized encourages innovation in the development of environmentally friendly alternative materials. This study aims to analyze the feasibility of using OPEFB as a basic material in the design of vehicle brake pads through the Finite Element Analysis (FEA) approach. OPEFB fibers are combined with binders as a matrix and other reinforcing materials to form a brake pad composite, which is then modeled and simulated using SolidWorks and ANSYS software. The main parameters analyzed include stress distribution, total deformation, heat distribution and safety factor when the brake pads work under standard braking conditions in the automotive industry. The simulation results show that OPEFB-based brake pads have adequate mechanical characteristics with uniform stress distribution and deformation within safe limits. In addition to the adequate mechanical properties of OPEFB as a basic material for brake pads, OPEFB-based brake pads are able to act as good insulators so that they will not adversely affect the performance of the brake calliper, especially on the calliper piston.

*Corresponding author: mahruri.wicaksono@ti.itera.ac.id

DOI: <https://10.24127/armatur.v6i2>. 9218

Received 17 Juni 2025; Received in revised form 28 September 2025; Accepted 28 September 2025

Available online 30 September 2025

Pendahuluan

Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) saat ini masih sangat terbatas, terutama hanya dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan pupuk kompos. Padahal, TKKS memiliki potensi besar sebagai sumber material alternatif berbasis biomassa yang ramah lingkungan. Beberapa upaya telah dilakukan untuk mengolah TKKS menjadi serat, namun prosesnya masih tergolong rumit, membutuhkan waktu lama, serta memerlukan teknologi dan biaya yang cukup tinggi, sehingga belum banyak dimanfaatkan secara optimal dalam sektor industri manufaktur [1].

Di sisi lain, material kampas rem kendaraan bermotor yang beredar luas saat ini masih didominasi oleh bahan berbasis asbes. Penggunaan asbes, meskipun memiliki sifat tahan panas dan gesekan yang baik, telah diketahui menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap komponen sistem pengereman itu sendiri. Salah satu dampak signifikan adalah keausan yang cepat pada cakram rem akibat sifat abrasif dari kampas rem berbahan asbes, yang dalam jangka panjang dapat menurunkan kinerja pengereman dan meningkatkan biaya perawatan [2].

Melihat permasalahan tersebut, penting untuk mencari alternatif bahan baku kampas rem yang lebih ramah lingkungan, memiliki performa gesek yang baik, serta tidak merusak cakram rem. Dalam konteks ini, TKKS memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan komposit alternatif pada kampas rem, sehingga tidak hanya memberikan solusi atas limbah pertanian, tetapi juga mendukung inovasi material pada sektor otomotif. Permasalahan limbah industri semakin meningkat seiring dengan berkembangnya sektor otomotif dan perkebunan. Salah satu limbah yang masih belum dimanfaatkan secara optimal adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan sepatu kampas rem bekas [3].

Selama ini, TKKS umumnya hanya dimanfaatkan sebagai pupuk kompos atau bahan bakar biomassa secara terbatas.

Padahal, serat TKKS memiliki potensi yang cukup besar sebagai bahan baku alternatif untuk material komposit.

Di sisi lain, sepatu kampas rem yang sudah tidak terpakai akibat habisnya lapisan kampas biasanya langsung dibuang, tanpa dilakukan proses daur ulang atau pemanfaatan ulang yang berarti. Padahal, bagian sepatu rem yang berbahan logam masih memiliki kekuatan struktural dan bisa dimanfaatkan kembali sebagai bagian dari produk baru, jika didukung dengan rekayasa desain dan pengolahan yang tepat.

Melihat kondisi ini, penelitian dan pengembangan pemanfaatan limbah TKKS dan limbah sepatu kampas rem sangat penting dilakukan untuk menciptakan produk baru yang ramah lingkungan, khususnya dalam mendukung industri otomotif berkelanjutan. Salah satu aplikasi yang potensial adalah pengembangan kampas rem ramah lingkungan berbasis material limbah, yang tidak hanya mengurangi beban limbah industri, tetapi juga membuka peluang efisiensi biaya dan substitusi material konvensional seperti asbes yang berbahaya bagi kesehatan. Perkembangan teknologi material dan kebutuhan akan efisiensi serta keberlanjutan dalam industri otomotif mendorong perlunya inovasi dalam desain dan pemanfaatan material komposit untuk komponen kendaraan.

Salah satu komponen vital dalam sistem pengereman adalah kampas rem, yang berfungsi mengubah energi kinetik menjadi energi panas melalui gesekan. Material kampas rem konvensional, seperti yang berbasis asbes, memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan, serta tidak berkelanjutan dalam jangka panjang. Sejalan dengan upaya pengurangan limbah industri dan penciptaan material ramah lingkungan, tim kami saat ini tengah fokus dalam pengembangan desain dan analisis material kampas rem berbasis limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan logam sepatu kampas rem bekas. Inovasi ini diharapkan mampu menghasilkan produk kampas rem yang

tidak hanya kuat dan tahan terhadap beban kerja tinggi, tetapi juga memiliki konduktivitas termal yang terkendali untuk mendukung efisiensi pengereman.

Untuk mendukung pengembangan ini, dilakukan pendekatan berbasis simulasi rekayasa menggunakan dua perangkat lunak utama seperti *SolidWorks* untuk perancangan produk, dan *ANSYS* untuk analisis mekanik dan termal. Simulasi bending dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan struktur terhadap beban lentur, sementara analisis perambatan panas (*heat transfer analysis*) digunakan untuk mengetahui distribusi suhu yang terjadi selama proses pengereman. Pendekatan ini memungkinkan prediksi performa kampas rem secara virtual sebelum prototipe fisik dibuat, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya pengembangan [4].

Metode Penelitian

Perancangan produk kampas rem berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) saat ini tengah dikembangkan sebagai solusi pemanfaatan limbah yang ramah lingkungan. Hal ini didasari oleh fakta bahwa jumlah limbah TKKS dari industri kelapa sawit terus meningkat dan masih belum dimanfaatkan secara optimal, umumnya hanya dijadikan kompos atau bahan bakar biomassa. Serta Pengembangan kampas rem berbahan dasar TKKS dan limbah pads kampas rem ini tidak hanya bertujuan mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga menciptakan bahan alternatif yang berpotensi menggantikan material konvensional seperti asbes, yang diketahui berdampak buruk bagi kesehatan dan lingkungan. Dengan demikian, pendekatan ini mampu mendukung prinsip ekonomi sirkular serta memberikan nilai tambah pada limbah industri kelapa sawit dan otomotif.

a). Material

TKKS merupakan limbah biomassa yang berpotensi tinggi untuk berbagai aplikasi industri, terutama dalam pengembangan material berbasis serat alami

yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dengan teknologi pengolahan yang tepat, TKKS dapat menjadi alternatif material industri masa depan, khususnya di sektor otomotif, konstruksi, dan energi [5-6].

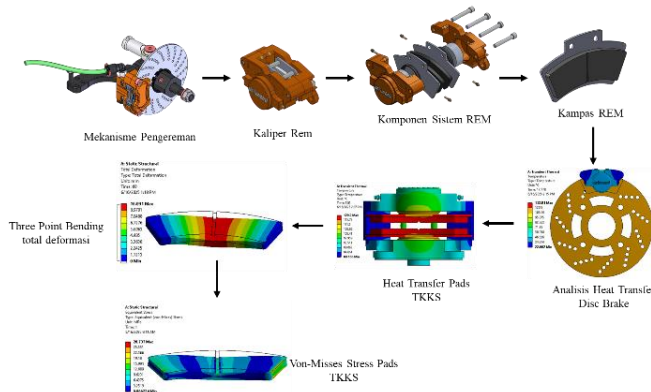
Tabel 1. Sifat Mekanik Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Materials	Parameter	
TKKS	Densitas	800 - 1200 kg/m ³
	Modulus Elastisitas	10-50 MPa
	Poisson Ratio	0.3
	Konduktivitas Termal	0.05-0.15 W/m·K
	Kapasitas Panas Jenis	1000-2000 J/kg·K
	Ultimate Tensile Strength	2-10 MPa
	Yield Strength	1-5 MPa

b). Metode Simulasi Sifat Mekanik dan Thermal Analysis TKKS

Pada tahap ini, dilakukan analisis perpindahan panas terhadap waktu (*transient*) untuk mengetahui distribusi suhu pada kampas rem saat digunakan. Langkah awal yaitu memasukkan data sifat fisik material TKKS, khususnya konduktivitas termal (*thermal conductivity*) yang diperoleh dari hasil pengujian atau literatur. Geometri kampas rem dimodelkan terlebih dahulu menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*, kemudian diimpor ke *ANSYS* [7]. Proses meshing dilakukan untuk membagi model menjadi elemen-elemen finite sehingga simulasi numerik dapat dijalankan. Kondisi batas diterapkan dengan memberikan suhu awal sebesar 120°C pada area kontak kampas rem untuk mensimulasikan kondisi kerja akibat gesekan. Waktu pemanasan diatur sesuai

skenario pengujian. Kemudian untuk static structural simulasi *three-point bending* diterapkan untuk menguji ketahanan mekanik kampas rem. Dua titik tumpuan berada di bawah kampas, dan satu titik pembebanan di atas bagian tengah.



Gambar 1. Diagram metode pengujian dan simulasi kampas rem berbasis TKKS [Sumber: Gambar Pribadi]

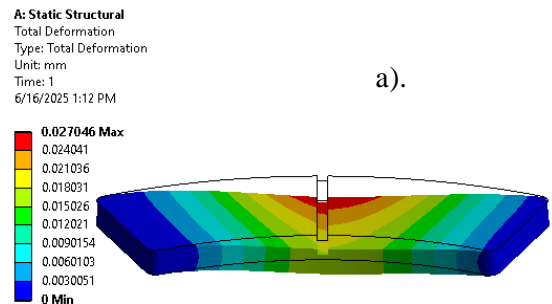
Hasil dan Pembahasan

Pengujian kampas REM berbasis simulasi *transient thermal* dan *static structural* berguna untuk mengetahui kualitas dan kapasitas kampas rem berbasis TKKS sebelum di lakukan nya produksi secara massal.

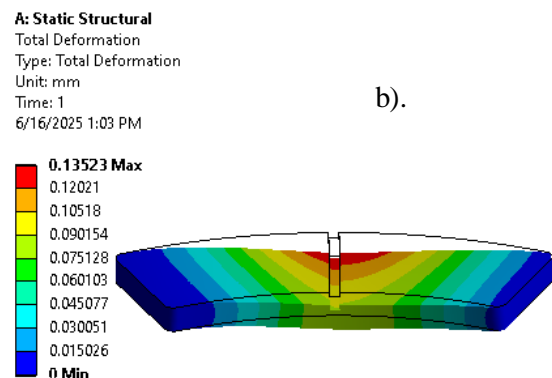
a). Deformasi produk terhadap simulasi *three point bending* berbasis TKKS

Pada simulasi *three-point bending* yang dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS, diberikan variasi pembebanan sebesar 10 N, 50 N dan 100 N untuk mengetahui respon mekanik berupa lendutan (defleksi) pada produk kampas rem berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Tujuan utama dari simulasi ini adalah mengevaluasi seberapa besar deformasi yang terjadi akibat beban lentur, dan menilai apakah nilai lendutan tersebut masih berada dalam batas aman penggunaan. Hasil simulasi menunjukkan nilai lendutan sebagai berikut:

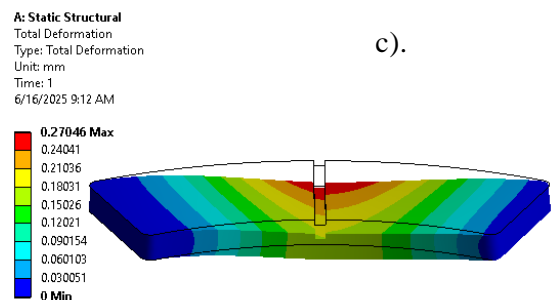
- Beban 10 N menghasilkan lendutan sebesar 0,0027 mm
- Beban 50 N menghasilkan lendutan sebesar 0,135 mm
- Beban 100 N menghasilkan lendutan sebesar 0,27 mm



a).



b).

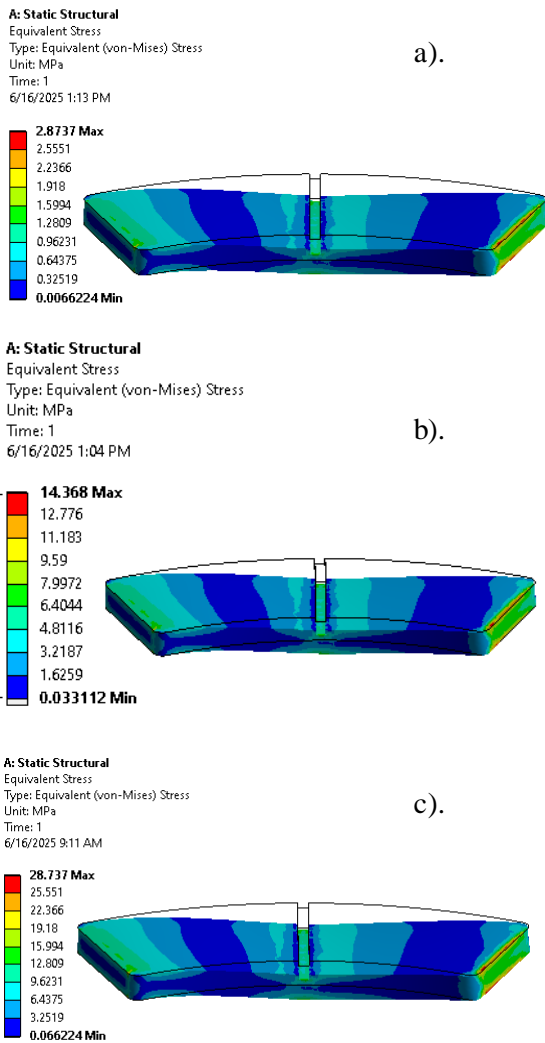


c).

Gambar 2. Total deformasi, a). 10 N, b). 50 N dan c). 100 N

Nilai lendutan maksimum sebesar 0,27 mm pada beban 100 N masih tergolong kecil, sehingga tidak mempengaruhi performa struktural kampas rem secara signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa desain kampas rem yang diuji masih aman untuk digunakan dalam aplikasi otomotif, khususnya pada kondisi kerja standar. Kemudian dilanjutkan dengan simulasi

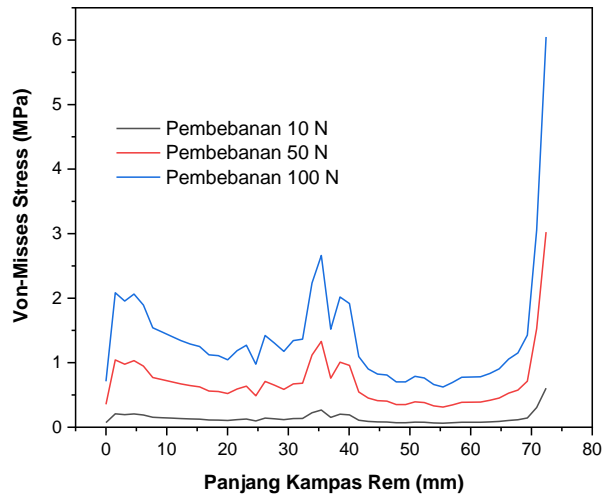
distribusi tegangan pada kampas rem berbasis TKKS.



Gambar 3. *Von-Misses Stress*, a). 10 N, b). 50 N dan c). 100 N

Terlihat bahwa nilai tegangan meningkat secara proporsional terhadap peningkatan beban. Tegangan pada 50 N dan 100 N masing-masing sekitar 5 kali dan 10 kali dari tegangan pada 10 N. Hal ini menunjukkan respon linier elastik, sesuai dengan hukum *Hooke* ($\sigma = F/A$), selama material belum mencapai batas leleh. Jika nilai 28,77 MPa (pada beban 100 N) masih di bawah *yield strength* dari material kampas rem (misalnya berbasis TKKS atau material komposit lainnya), maka kampas rem masih dalam kondisi aman, tidak terjadi deformasi plastis atau kerusakan. Nilai tegangan maksimum 28,77 MPa mengindikasikan

bahwa desain kampas rem mampu menahan beban operasional hingga 100 N tanpa melebihi batas tegangan materialnya. Ini menunjukkan bahwa desain tersebut efektif dan aman digunakan dalam aplikasi rem dengan gaya tekan sebanding.



Gambar 4. *Linearized Von-Misses Stress* terhadap variasi pembebanan

Linearized Von-Misses Stress merupakan hasil dari proses *linearization* (pelinieran) dari *Von-Misses Stress* sepanjang jalur tertentu (biasanya lintasan kritis di dalam komponen, seperti dinding pipa atau sambungan las) [8]. Semakin besar beban yang diberikan (dari 10 N ke 100 N), maka nilai *Von-Misses stress* meningkat secara signifikan.

Hal ini terlihat dari warna biru (100 N) yang memiliki puncak stress tertinggi. Pada beban 100 N, stress maksimum mendekati atau lebih dari 2.6 MPa. Sedangkan pada beban 10 N dan 50 N, nilainya lebih rendah dan meningkat secara bertahap. Hal ini mengindikasikan bahwa desain kampas rem mampu menahan beban ringan hingga sedang, namun perlu evaluasi lebih lanjut pada beban tinggi (untuk mencegah kemungkinan kegagalan atau deformasi permanen) [9].

b). Transient Thermal Analysis terhadap simulasi distribusi panas kampas rem berbasis TKKS

Pada simulasi *Transient Thermal Analysis*, mampu mengevaluasi distribusi suhu (panas) terhadap waktu pada material kampas rem berbasis TKKS, yang merupakan material alternatif ramah lingkungan. Analisis ini penting untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap, menyalurkan, dan menahan panas yang dihasilkan akibat gesekan saat pengereman [10-11].

Pada penelitian ini dilakukan analisis *transient thermal* terhadap sistem kampas rem (*brake pads*) yang berbahan dasar TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit). Simulasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan material TKKS dalam mendistribusikan panas serta peranannya sebagai isolator termal.

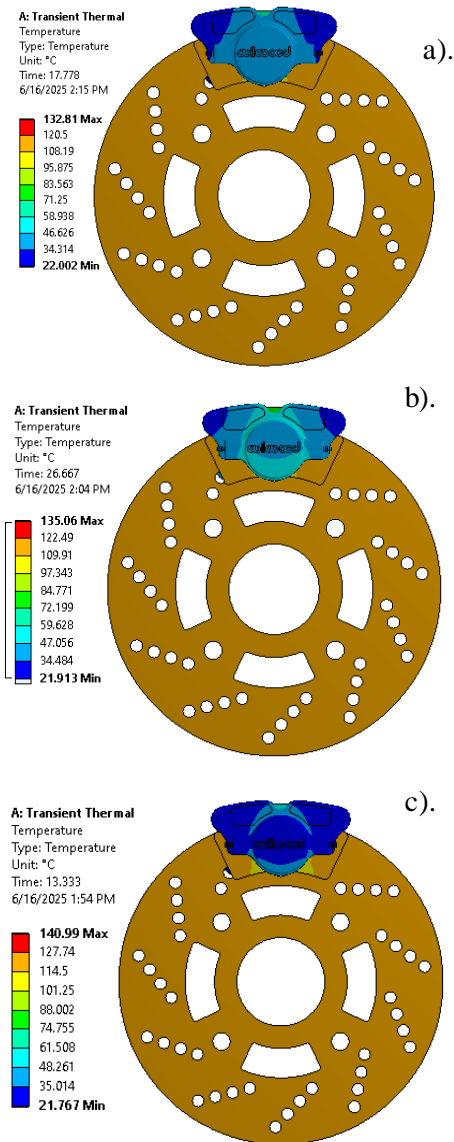
Simulasi dilakukan dengan *boundary condition* temperatur awal *disc brake* sebesar 120°C, yang merepresentasikan kondisi nyata akibat gaya gesek antara kampas rem dan piringan (*disc brake*) saat proses pengereman berlangsung. Temperatur ini dipilih berdasarkan nilai umum suhu kerja *disc brake* saat terjadi gesekan dalam sistem pengereman kendaraan.

Penggunaan material TKKS tidak hanya ditujukan sebagai material penahan gaya gesek, tetapi juga sebagai isolator termal yang mencegah transfer panas berlebih ke komponen lain, seperti piston. Jika material kampas tidak memiliki sifat isolator yang baik, maka akumulasi panas dapat menjalar ke piston dan menyebabkan gangguan kinerja, seperti macetnya sistem pengereman.

Hasil simulasi distribusi temperatur menunjukkan bahwa:

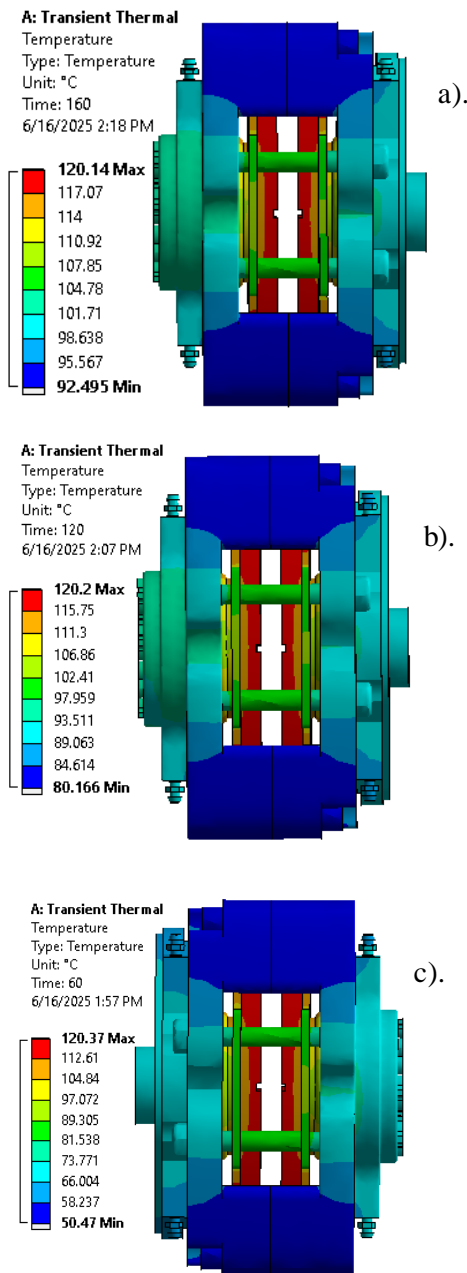
- Pada 60 detik, temperatur meningkat hingga 132,81°C.
- Pada 120 detik, temperatur mencapai 135,06°C.
- Pada 180 detik, temperatur mencapai 140,99°C.

Kenaikan temperatur ini masih dalam batas yang wajar dan menunjukkan bahwa material TKKS mampu meredam dan memperlambat distribusi panas secara signifikan. Distribusi temperatur yang tidak terlalu drastis menunjukkan bahwa TKKS memiliki sifat isolasi termal yang cukup baik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan material TKKS pada kampas rem berpotensi sebagai solusi material ramah lingkungan yang mampu



Gambar 5. Distribusi panas, a). 60 s, b). 120 s dan c). 180 s

menahan gaya gesek dan mengisolasi panas dengan efektif, sehingga tidak merusak komponen lain dalam sistem pengereman seperti piston atau silinder hidrolik [12].



Gambar 6. *Transient Thermal Analysis*, a). 60 s, b). 120 s dan c). 180 s

Berdasarkan hasil simulasi pada komponen caliper, terlihat bahwa distribusi panas akibat gaya gesek yang terjadi saat pengereman hanya terbatas pada bagian pads kampas rem. Perambatan panas tidak menjangar hingga ke sistem hidrolik, seperti

piston atau silinder kerja, yang merupakan bagian vital dalam sistem pengereman.

Fenomena ini menunjukkan bahwa material kampas rem yang digunakan dalam hal ini berbasis TKKS (Tandan Kosong Kelapa Sawit) memiliki sifat isolasi termal yang baik. Sifat ini sangat penting untuk menjaga stabilitas kinerja sistem pengereman secara keseluruhan, karena jika panas merambat hingga ke sistem hidrolik, maka dapat menyebabkan kegagalan fungsi, seperti piston yang macet akibat pemuai termal atau penurunan viskositas fluida hidrolik [13].

Sebaliknya, apabila hasil simulasi menunjukkan bahwa panas ikut merambat ke sistem hidrolik, maka hal ini menjadi indikator bahwa material kampas rem tidak mampu mengisolasi panas secara efektif. Kondisi ini berisiko mengganggu performa pengereman dan bahkan berpotensi menimbulkan kerusakan permanen pada komponen-komponen sistem rem.

Dengan demikian, hasil simulasi ini memberikan bukti pendukung bahwa pemanfaatan TKKS sebagai material kampas rem tidak hanya unggul dalam aspek keberlanjutan lingkungan, tetapi juga mampu memenuhi persyaratan fungsional sebagai isolator panas pada sistem pengereman.

Kesimpulan

Kampas rem berbasis TKKS menunjukkan ketahanan mekanik yang memadai untuk aplikasi otomotif, terbukti dari hasil simulasi pembebanan statik yang menunjukkan nilai *von-Mises stress* masih berada di bawah batas *yield* material, bahkan pada beban maksimum 100 N. Hal ini menunjukkan bahwa desain produk tetap aman digunakan dalam kondisi kerja normal kendaraan. Hasil *transient thermal analysis* menunjukkan bahwa perambatan panas pada kampas rem TKKS relatif terbatas pada area pad aktif saja dan tidak menyebar signifikan ke sistem hidrolik. Hal ini menandakan bahwa material TKKS memiliki sifat isolasi termal yang baik, yang

sangat penting untuk mencegah kerusakan pada komponen seperti piston rem akibat paparan panas berlebih. Desain kampas rem ini terbukti mampu menahan beban mekanik serta memberikan insulasi panas yang cukup, menjadikannya alternatif ramah lingkungan yang potensial untuk menggantikan bahan kampas rem konvensional yang umumnya berbasis asbes atau serat sintetis. Selain itu, pemanfaatan limbah TKKS mendukung prinsip ekonomi sirkular dan berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan industri otomotif.

Referensi

- [1] Dolah, R., Karnik, R., & Hamdan, H. (2021). A comprehensive review on biofuels from oil palm empty bunch (EFB): Current status, potential, barriers and way forward. *Sustainability*, 13(18), 10210.
- [2] Mawuli, S. E., & Anthony, S. (2022). A Conceptual Review of Automobile Disc Brake Friction Materials. *Advances in Image and Video Processing*, 10(6).
- [3] Sutikno, S., Berata, W., Fendy, K. H., & Safaat, A. (2020). Effects of Oil Palm Empty Fruit Bunch and Magnesium Oxide Volume Fraction on Mechanical Characteristics of Railway Brake Block Composite Material. *Key Engineering Materials*, 867, 91-97.
- [4] García-León, R. A., Afanador-García, N., & Gómez-Camperos, J. A. (2021). Numerical study of heat transfer and speed air flow on performance of an auto-ventilated disc brake. *Fluids*, 6(4), 160.
- [5] Gultom, F., Supriadi, H., & Savetlana, S. (2014). Pengaruh perlakuan alkali terhadap kekuatan tarik serat tandan kosong kelapa sawit untuk digunakan pada komposit serat TKKS. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(2).
- [6] Ali, S., & Rusman, A. R. (2017). Kuat Tekan Material Dari Bahan Komposit Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, 3(1).
- [7] Mausam, K., Sharma, A., & Singh, P. K. (2021). Calculating stress, temperature in brake pad using ANSYS composite materials. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3547-3550.
- [8] Underhill, P. R., & DuQuesnay, D. L. (2008). The effect of dynamic loading on the fatigue scatter factor for Al 7050. *International Journal of Fatigue*, 30(4), 614-622.
- [9] Darekar, S., Dhage, A., Ghumatkar, N., Gosavi, S., & Alage, S. M. (2020). Design and Analysis of Automotive Disc Brake using FEM. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN*, 2395-0056.
- [10] Singh Chouhan, Y., & Tiwari, S. (2020, March). Static structural and thermal analysis of disc brake pad model. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 810, No. 1, p. 012073). IOP Publishing.
- [11] Tsai, H. L., Teo, H. G., Gau, C., Jeng, S. T., Lee, C. C., Lin, S. W., & Lin, S. C. (2007, August). Transient thermal analysis of a disk brake system. In *Proceedings of the 14th National Computational Fluid Dynamics Conference*, New Taipei City, Taiwan (pp. 27-29).
- [12] Mohammed, A. Q., Hussain, I. Y., & Abdullah, O. I. (2022). Effect of frictional material on thermal behavior

of brake system. *Tribology in industry*, 44(1), 64-72.

- [13] Ramlee, N. A., Naveen, J., & Jawaid, M. (2021). Potential of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) and sugarcane bagasse fibers for thermal insulation application—A review. *Construction and Building Materials*, 271, 121519.