ISSN:2723-2999, Volume 7 No.2, Oktober 2026

EVALUASI KETAHANAN AUS DAN DEFORMASI TRACKPAD NR-EPDM DENGAN CARBON BLACK N330

Rian Tansatrisna Abrianto[1], Farid Hendro Wibowo [2], Arya Menggala Mahayoga [3]
[1),2)]Politeknik Angkatan Darat, Batu Malang Jatim
[3)]Institut Teknologi Nasional, Malang Jatim
E-mail: riantansatrisna3@gmail.com

ABSTRAK

Material trackpad pada Tank Scorpion memiliki peran penting dalam menahan beban, gesekan, dan deformasi selama operasi, sehingga diperlukan material dengan ketahanan aus dan stabilitas deformasi yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi Carbon Black N330 pada material berbasis *Natural Rubber* (NR) dan *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM) terhadap ketahanan aus dan deformasi akibat pembebanan dinamis. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan pembuatan spesimen melalui proses *compounding* dan vulkanisasi menggunakan metode *compression molding* pada temperatur 175 °C, tekanan 8 MPa, dan waktu 45 menit. Variasi Carbon Black N330 yang digunakan adalah 46 phr, 56 phr, 66 phr, 76 phr, dan 86 phr. Pengujian dilakukan melalui uji dinamis berupa uji jalan dan manuver untuk mengetahui laju keausan serta perubahan dimensi material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar Carbon Black N330 mampu meningkatkan ketahanan aus material akibat penguatan struktur elastomer, namun pada komposisi tinggi menyebabkan penurunan kemampuan deformasi elastis karena meningkatnya kekakuan material. Komposisi optimum diperoleh pada variasi menengah yang memberikan keseimbangan antara ketahanan aus dan stabilitas deformasi. Dengan demikian, material berbasis NR-EPDM dengan penambahan Carbon Black N330 berpotensi sebagai alternatif material trackpad yang lebih tahan terhadap kondisi operasional dinamis.

Kata kunci: NR-EPDM, Carbon Black N330, ketahanan aus, deformasi, trackpad

1. PENDAHULUAN

Kendaraan tempur berantai seperti Tank Scorpion menggunakan sistem penggerak berupa *track* yang berfungsi untuk mendistribusikan beban kendaraan secara merata pada permukaan medan. Sistem ini memungkinkan kendaraan memiliki mobilitas yang baik pada berbagai kondisi lintasan, termasuk medan lunak, berbatu, maupun tidak rata. Salah satu komponen penting pada sistem tersebut adalah *trackpad*, yaitu bagian yang berkontak langsung dengan permukaan jalan. Trackpad berfungsi untuk mengurangi dampak gesekan antara rantai kendaraan dan lintasan serta membantu menjaga stabilitas kendaraan saat bermanuver. Oleh karena itu, komponen ini dituntut memiliki kemampuan dalam menahan beban, gaya gesek, dan deformasi selama kendaraan beroperasi.

Trackpad menerima pembebanan dinamis secara terus-menerus selama kendaraan bergerak, baik pada kondisi berjalan lurus maupun saat melakukan manuver. Kondisi tersebut menyebabkan material trackpad rentan mengalami keausan akibat gesekan berulang serta perubahan bentuk akibat tekanan yang diterima. Apabila material trackpad tidak memiliki ketahanan aus dan stabilitas deformasi yang baik, maka komponen akan mengalami penurunan performa dan umur pakai menjadi lebih singkat. Dampak lainnya dapat berupa meningkatnya biaya pemeliharaan dan berkurangnya efektivitas operasional kendaraan tempur. Dengan demikian, pemilihan material trackpad menjadi faktor penting dalam mendukung keandalan sistem kendaraan (Kruger et al., 2023).

Material elastomer berbasis *Natural Rubber* (NR) banyak digunakan pada komponen trackpad karena memiliki elastisitas tinggi serta kemampuan meredam getaran dengan baik. Karakteristik tersebut membuat NR mampu mengurangi efek benturan dan menjaga kenyamanan operasional kendaraan. Namun, material ini memiliki kelemahan berupa ketahanan yang rendah terhadap panas, oksidasi, dan pengaruh lingkungan. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dilakukan pengembangan material melalui pencampuran dengan *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM), yang diketahui memiliki ketahanan lebih baik terhadap panas, ozon, dan cuaca. Kombinasi NR–EPDM diharapkan mampu menghasilkan material dengan keseimbangan sifat elastisitas dan ketahanan lingkungan yang lebih baik (Craciun et al., 2020).

Selain pencampuran matriks elastomer, penambahan *Carbon Black* tipe N330 digunakan sebagai bahan penguat (*reinforcing filler*) untuk meningkatkan sifat mekanik material. Carbon Black diketahui mampu meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik, dan ketahanan aus melalui interaksi antara partikel filler dan matriks polimer. Akan

tetapi, peningkatan kadar Carbon Black yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan material menjadi lebih kaku sehingga mempengaruhi kemampuan deformasi elastisnya. Oleh sebab itu, diperlukan evaluasi terhadap variasi komposisi Carbon Black N330 guna memperoleh keseimbangan antara peningkatan ketahanan aus dan stabilitas deformasi material (Wang et al., 2025).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ketahanan aus material elastomer dipengaruhi oleh komposisi material dan kondisi pembebanan yang diterima. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengujian sifat mekanik statis sehingga belum mampu merepresentasikan kondisi operasional sebenarnya yang melibatkan pembebanan dinamis secara berulang. Selain itu, kajian mengenai perilaku deformasi material berbasis campuran NR–EPDM dengan variasi Carbon Black masih terbatas. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi Carbon Black N330 terhadap ketahanan aus dan deformasi material trackpad berbasis NR–EPDM akibat pembebanan dinamis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material trackpad yang lebih andal dan memiliki umur pakai yang lebih baik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Elastomer pada Trackpad Tank

Trackpad merupakan salah satu komponen penting pada sistem kendaraan tempur berantai yang berfungsi sebagai media kontak langsung antara kendaraan dan permukaan lintasan. Komponen ini berperan dalam mendistribusikan beban kendaraan, meredam getaran, serta mengurangi tingkat keausan akibat gesekan selama operasional berlangsung. Material trackpad dituntut memiliki kemampuan dalam menahan tekanan, benturan, deformasi, serta gesekan berulang pada berbagai kondisi medan. Oleh karena itu, pemilihan material yang tepat menjadi faktor penting dalam menentukan performa dan umur pakai trackpad kendaraan tempur.

Material elastomer banyak digunakan pada komponen trackpad karena memiliki karakteristik elastisitas yang baik serta mampu menyerap energi akibat pembebanan dinamis. Elastomer memiliki kemampuan kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi akibat tekanan, sehingga sesuai digunakan pada komponen yang menerima beban berulang. Selain itu, elastomer juga memiliki sifat fleksibel yang mampu meningkatkan kenyamanan operasional kendaraan pada medan yang tidak rata. Namun demikian, karakteristik elastomer sangat dipengaruhi oleh jenis material penyusun serta komposisi bahan penguat yang digunakan.

2.2 Natural Rubber (NR)

Natural Rubber (NR) merupakan material elastomer alami yang diperoleh dari getah tanaman *Hevea brasiliensis*. Material ini memiliki karakteristik elastisitas tinggi, ketahanan sobek yang baik, serta kemampuan meredam getaran yang cukup efektif. Oleh sebab itu, NR banyak digunakan pada berbagai aplikasi teknik, termasuk komponen kendaraan yang membutuhkan fleksibilitas tinggi. Selain itu, NR juga memiliki kemampuan deformasi elastis yang baik sehingga mampu kembali ke bentuk awal setelah menerima pembebanan.

Meskipun demikian, NR memiliki kelemahan berupa ketahanan yang rendah terhadap panas, oksidasi, dan paparan lingkungan. Pada kondisi temperatur tinggi atau pembebanan berulang, material ini dapat mengalami degradasi yang menyebabkan penurunan performa mekanik. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi material melalui pencampuran dengan jenis elastomer lain untuk meningkatkan ketahanan material terhadap kondisi operasional yang lebih berat.

2.3 Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM)

Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) merupakan jenis karet sintetis yang memiliki ketahanan tinggi terhadap panas, oksidasi, ozon, dan pengaruh cuaca. Material ini dikenal memiliki stabilitas dimensi yang baik pada berbagai kondisi lingkungan sehingga banyak digunakan pada aplikasi teknik yang membutuhkan daya tahan tinggi. EPDM juga memiliki kemampuan mempertahankan sifat elastis pada rentang temperatur yang luas.

Pada penelitian ini, EPDM digunakan sebagai material campuran dengan NR untuk meningkatkan performa material trackpad terhadap kondisi pembebanan dinamis. Kombinasi NR–EPDM diharapkan mampu menghasilkan material dengan keseimbangan antara elastisitas, ketahanan aus, serta stabilitas deformasi yang lebih baik dibandingkan penggunaan NR secara tunggal.

2.4 Carbon Black N330 sebagai Reinforcing Filler

Carbon Black tipe N330 merupakan salah satu bahan pengisi (*reinforcing filler*) yang banyak digunakan pada industri material karet untuk meningkatkan sifat mekanik material. Carbon Black bekerja dengan memperkuat interaksi antar rantai polimer sehingga menghasilkan struktur material yang lebih padat dan memiliki ketahanan lebih baik terhadap tekanan maupun gesekan. Penambahan Carbon Black diketahui mampu meningkatkan kekerasan, modulus elastisitas, ketahanan abrasi, dan ketahanan aus material elastomer.

Namun demikian, peningkatan kadar Carbon Black yang terlalu tinggi dapat menyebabkan material menjadi lebih kaku sehingga mengurangi

kemampuan deformasi elastisnya. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi terhadap variasi komposisi Carbon Black N330 guna memperoleh kadar optimum yang mampu memberikan keseimbangan antara peningkatan ketahanan aus dan kemampuan deformasi material.

2.5 Mekanisme Keausan Material Elastomer

Keausan merupakan proses hilangnya material permukaan akibat adanya kontak, gesekan, dan pembebanan selama proses operasional berlangsung. Pada material elastomer, mekanisme keausan dipengaruhi oleh tekanan kontak, gaya gesek, kekerasan material, serta kondisi pembebanan dinamis yang diterima. Semakin besar gaya gesek dan tekanan yang bekerja, maka potensi kehilangan material akibat pengikisan akan semakin meningkat.

Ketahanan aus material elastomer dapat ditingkatkan melalui penguatan struktur material menggunakan filler seperti Carbon Black. Distribusi filler yang baik dalam matriks elastomer mampu meningkatkan kemampuan material dalam menahan pengikisan permukaan akibat gesekan berulang. Oleh sebab itu, evaluasi laju keausan menjadi parameter penting dalam menentukan performa material trackpad pada kondisi operasional kendaraan tempur.

2.6 Deformasi Material Akibat Pembebanan Dinamis

Deformasi merupakan perubahan bentuk atau dimensi material akibat adanya pembebanan yang diterima. Pada material trackpad, deformasi terjadi akibat tekanan kendaraan yang bekerja secara berulang selama proses operasional berlangsung. Material dengan kemampuan deformasi elastis yang baik akan mampu kembali ke bentuk semula setelah pembebanan dihilangkan, sedangkan material dengan deformasi permanen tinggi cenderung mengalami penurunan performa.

Kemampuan material dalam menahan deformasi dipengaruhi oleh komposisi penyusun material, tingkat kekakuan, serta interaksi antar rantai polimer. Penambahan Carbon Black dapat meningkatkan kekakuan material sehingga mampu menahan deformasi, namun apabila berlebihan justru dapat menyebabkan material kehilangan fleksibilitasnya. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan komposisi material untuk memperoleh karakteristik deformasi yang optimal.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi Carbon Black N330 terhadap karakteristik material berbasis *Natural Rubber* (NR) dan *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM). Metode eksperimen dipilih karena mampu memberikan gambaran langsung mengenai perubahan sifat material akibat variasi komposisi filler dan pembebanan dinamis yang diterima selama pengujian berlangsung. Penelitian difokuskan pada evaluasi ketahanan aus dan deformasi material trackpad Tank Scorpion sebagai respons terhadap kondisi operasional kendaraan. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan mampu memberikan data yang representatif terhadap performa material pada kondisi sebenarnya. Pendekatan eksperimen juga memungkinkan dilakukan perbandingan antar variasi komposisi untuk menentukan material dengan performa terbaik.

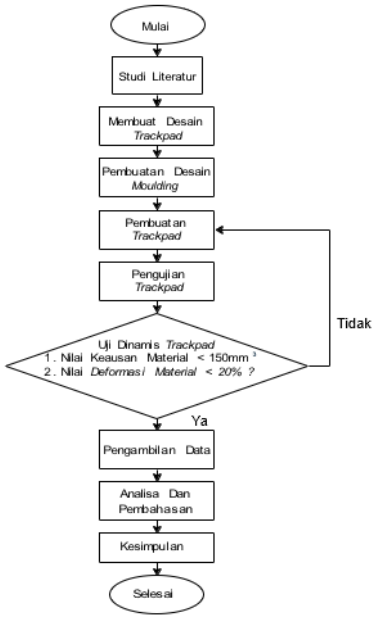
Komposisi material pada penelitian ini menggunakan perbandingan *Natural Rubber* (NR) dan *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM) sebesar 80:20 (% berat). Pemilihan komposisi tersebut didasarkan pada upaya memperoleh keseimbangan antara elastisitas material dari NR dan ketahanan terhadap panas serta cuaca dari EPDM. Variasi *Carbon Black* N330 digunakan sebagai filler penguat (*reinforcing filler*) dengan komposisi sebesar 46 phr, 56 phr, 66 phr, 76 phr, dan 86 phr. Variasi tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh peningkatan kadar Carbon Black terhadap sifat mekanik material, khususnya ketahanan aus dan deformasi. Setiap variasi komposisi selanjutnya dijadikan spesimen untuk dilakukan pengujian.

Pembuatan spesimen dilakukan melalui proses pencampuran (*compounding*) hingga material mencapai kondisi homogen. Proses ini bertujuan untuk memastikan seluruh bahan penyusun tercampur secara merata sehingga mampu menghasilkan karakteristik material yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Setelah proses pencampuran selesai dilakukan, material dibentuk menggunakan metode *compression molding* untuk memperoleh bentuk trackpad sesuai rancangan penelitian. Proses pembentukan dilakukan pada temperatur 175 °C dengan tekanan sebesar 8 MPa dan waktu pemanasan selama 45 menit. Tahapan tersebut bertujuan untuk menghasilkan material yang telah mengalami proses vulkanisasi secara optimal.

Pengujian material dilakukan secara dinamis dengan memasang spesimen pada sistem trackpad dan diuji pada kondisi operasional kendaraan. Pengujian meliputi uji jalan serta manuver untuk merepresentasikan kondisi pembebanan aktual yang diterima trackpad selama kendaraan bergerak. Pada pengujian ini, spesimen menerima beban tekan dan gaya gesek secara berulang yang berpotensi menyebabkan keausan maupun deformasi material. Kondisi pengujian dirancang untuk memberikan gambaran mengenai kemampuan material dalam mempertahankan performanya terhadap pembebanan dinamis. Dengan demikian, hasil pengujian dapat digunakan untuk mengevaluasi keandalan material trackpad.

Parameter yang diamati pada penelitian ini meliputi laju keausan yang ditunjukkan melalui perubahan dimensi material serta deformasi akibat pembebanan. Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara komparatif untuk mengetahui pengaruh variasi Carbon Black N330 terhadap performa material berbasis NR–EPDM. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil setiap spesimen guna mengetahui kecenderungan perubahan sifat material akibat peningkatan kadar filler. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan menentukan komposisi optimum yang mampu memberikan keseimbangan antara ketahanan aus dan stabilitas deformasi. Hasil analisis diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan material trackpad yang lebih andal untuk mendukung operasional Tank Scorpion.

3. DIAGRAM SISTEM



(Di buat oleh peneliti, 2026)

2.1 Gambar Diagram Alir Sistem

Diagram sistem digunakan untuk menggambarkan alur penelitian secara sistematis mulai dari tahap awal hingga diperoleh hasil dan kesimpulan penelitian. Diagram ini berfungsi untuk memudahkan pemahaman terhadap tahapan proses yang dilakukan, khususnya pada evaluasi material trackpad berbasis *Natural Rubber* (NR) dan *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM) dengan variasi *Carbon Black* N330. Penyusunan diagram sistem dilakukan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai hubungan antar tahapan penelitian sehingga proses pelaksanaan dapat berjalan secara terstruktur. Selain itu, diagram sistem juga membantu dalam mengidentifikasi tahapan pengujian dan analisis yang dilakukan terhadap material. Dengan demikian, keseluruhan proses penelitian dapat dipahami secara lebih sistematis dan terarah.

Setelah bahan dipersiapkan, tahapan berikutnya adalah proses pembuatan spesimen melalui pencampuran (*compounding*) hingga material tercampur secara homogen. Proses pencampuran dilakukan untuk memastikan seluruh bahan penyusun dapat terdistribusi dengan baik pada matriks elastomer. Material yang telah tercampur kemudian dibentuk menggunakan metode *compression molding* melalui proses vulkanisasi dengan parameter tertentu untuk menghasilkan spesimen trackpad yang siap diuji. Tahap ini bertujuan memperoleh material dengan karakteristik yang sesuai terhadap kebutuhan pengujian. Hasil spesimen yang terbentuk selanjutnya dipersiapkan untuk tahap pengujian.

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh dasar teori yang berkaitan dengan material elastomer, mekanisme keausan, deformasi material, serta proses vulkanisasi pada material karet. Studi literatur dilakukan melalui penelaahan jurnal, buku, dan penelitian terdahulu yang relevan dengan pengembangan material trackpad. Hasil kajian pustaka tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan variabel penelitian dan metode pengujian yang digunakan. Selanjutnya dilakukan perancangan komposisi material berdasarkan variasi *Carbon Black* N330 yang telah ditentukan. Pada tahap ini juga dilakukan persiapan bahan untuk mendukung proses pembuatan spesimen.

Spesimen yang telah terbentuk kemudian diuji melalui pengujian dinamis berupa uji jalan dan manuver untuk mengetahui ketahanan aus dan deformasi material akibat pembebanan operasional. Pengujian dilakukan untuk merepresentasikan kondisi aktual yang diterima trackpad selama kendaraan bergerak pada berbagai kondisi lintasan. Parameter yang diamati meliputi laju keausan berdasarkan perubahan dimensi material serta deformasi akibat pembebanan dinamis. Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis secara komparatif untuk mengetahui pengaruh variasi *Carbon Black* N330 terhadap performa material berbasis NR–EPDM. Analisis ini dilakukan guna memperoleh gambaran mengenai karakteristik material pada setiap variasi komposisi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *Carbon Black* N330 memberikan pengaruh terhadap ketahanan aus dan deformasi material. Peningkatan kadar *Carbon Black* cenderung meningkatkan ketahanan aus akibat terbentuknya struktur material yang lebih padat, namun pada komposisi tinggi menyebabkan material menjadi lebih kaku sehingga mengurangi kemampuan deformasi elastis. Sebaliknya, kadar *Carbon Black* yang lebih rendah menghasilkan material dengan fleksibilitas yang lebih baik, tetapi memiliki ketahanan aus yang lebih rendah. Oleh karena itu, diperlukan komposisi optimum yang mampu memberikan keseimbangan antara

ketahanan aus dan stabilitas deformasi material. Berdasarkan hasil pengujian, komposisi pada tingkat menengah menunjukkan performa yang paling baik untuk aplikasi material trackpad Tank Scorpion.

3.1 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas *Natural Rubber* (NR) dan *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM) sebagai matriks elastomer. Selain itu, digunakan *Carbon Black* N330 sebagai *reinforcing filler* untuk meningkatkan sifat mekanik material. Bahan pendukung seperti sulfur digunakan sebagai agen vulkanisasi, sedangkan bahan aditif lain berfungsi untuk mempercepat proses pembentukan ikatan silang (*crosslinking*) pada material.

3.2 Komposisi Material

Komposisi material pada penelitian ini menggunakan campuran *Natural Rubber* (NR) dan *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM) dengan perbandingan tetap sebesar 80:20 (% berat). Variasi penelitian dilakukan pada penambahan *Carbon Black* N330 untuk mengetahui pengaruhnya terhadap ketahanan aus dan deformasi material trackpad. Variasi komposisi *Carbon Black* yang digunakan terdiri atas lima spesimen, yaitu 46 phr, 56 phr, 66 phr, 76 phr, dan 86 phr.

Tabel 3.1 Komposisi Material

Komposisi	S1	S2	S3	S4	S5
NR	80	80	80	80	80
EPDM	20	20	20	20	20
Carbon Black N330	46	56	66	76	86

(Diolah Oleh Peneliti, 2026)

3.2 Tahapan Pembuatan Spesimen

Tahapan pembuatan spesimen diawali dengan proses mastikasi untuk melunakkan material karet agar lebih mudah dicampurkan dengan bahan lain. Setelah itu dilakukan proses pencampuran (*compounding*) menggunakan mesin penggiling untuk memperoleh campuran material yang homogen antara NR, EPDM, *Carbon Black* N330, dan bahan pendukung lainnya.

Material yang telah tercampur kemudian dipersiapkan untuk proses pembentukan trackpad dengan melakukan penyiapan *tracklink*, termasuk pemberian perekat pada permukaan tertentu untuk meningkatkan daya ikat antara material elastomer dan komponen logam. Selanjutnya dilakukan proses *molding* untuk membentuk spesimen sesuai dimensi yang telah ditentukan.

Tahap akhir dilakukan proses vulkanisasi menggunakan metode *compression molding* pada temperatur 175 °C, tekanan 8 MPa, dan waktu pemanasan selama 45 menit. Proses ini bertujuan membentuk ikatan silang (*crosslinking*) antar rantai polimer sehingga diperoleh material dengan struktur yang lebih padat dan stabil terhadap pembebanan dinamis.

3.3 Parameter Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan parameter tertentu untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan kondisi operasional trackpad Tank Scorpion. Parameter pengujian meliputi temperatur dan tekanan vulkanisasi, waktu pemanasan, tekanan pembebanan deformasi, serta jarak pengujian dinamis.

Tabel 3.2 Parameter Pengujian

Parameter Pengujian	Nilai
Temperatur Vulkanisasi	175 °C
Tekanan Vulkanisasi	8 MPa
Waktu Vulkanisasi	45 menit
Tekanan Uji Deformasi	67,3 kg/cm²
Waktu Pembebanan	5 menit
Jarak Pengujian Dinamis	5 km, 10 km, 15 km

(Diolah Oleh Peneliti, 2026)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, variasi komposisi *Carbon Black* N330 pada material berbasis *Natural Rubber* (NR) dan *Ethylene Propylene Diene Monomer* (EPDM) menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik material trackpad. Pengaruh tersebut terlihat pada perubahan ketahanan aus dan perilaku deformasi material setelah menerima pembebanan dinamis selama pengujian berlangsung. Variasi kadar *Carbon Black* menghasilkan respons material yang berbeda pada setiap spesimen. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi filler memiliki peran penting dalam menentukan performa material elastomer. Oleh karena itu, pemilihan kadar *Carbon Black* yang tepat menjadi faktor penting dalam pengembangan material trackpad.

Peningkatan kadar *Carbon Black* N330 terbukti mampu meningkatkan ketahanan aus material akibat terbentuknya struktur elastomer yang lebih kuat dan padat. Sebagai *reinforcing filler*, *Carbon Black* bekerja dengan memperkuat interaksi antar rantai polimer sehingga material memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap pengikisan akibat gesekan. Kondisi ini ditunjukkan oleh penurunan laju keausan pada spesimen dengan kadar *Carbon Black* yang lebih tinggi. Struktur material yang semakin rapat menyebabkan material lebih mampu menahan beban geser dan tekanan kontak selama pengujian dinamis berlangsung. Dengan demikian, peningkatan kadar filler memberikan kontribusi terhadap peningkatan daya tahan material terhadap keausan.

Meskipun demikian, peningkatan kadar *Carbon Black* yang terlalu tinggi juga menyebabkan perubahan sifat mekanik material, khususnya pada kemampuan deformasi elastis. Material cenderung menjadi lebih kaku akibat meningkatnya kepadatan

ikatan silang (*crosslink density*) dan interaksi antar partikel filler di dalam matriks elastomer. Kondisi ini menyebabkan material mengalami penurunan kemampuan untuk kembali ke bentuk semula setelah menerima pembebanan. Akibatnya, potensi terjadinya deformasi permanen menjadi lebih besar pada material dengan kadar *Carbon Black* yang terlalu tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kekakuan material tidak selalu memberikan dampak positif terhadap keseluruhan performa trackpad.

Hasil penelitian juga menunjukkan adanya hubungan kompromi antara ketahanan aus dan deformasi material. Material dengan kadar *Carbon Black* rendah cenderung memiliki fleksibilitas yang lebih baik, namun kurang mampu menahan keausan akibat gesekan selama pengujian. Sebaliknya, material dengan kadar *Carbon Black* tinggi memiliki ketahanan aus yang lebih baik, tetapi mengalami penurunan kemampuan deformasi elastis. Oleh karena itu, diperlukan komposisi optimum yang mampu memberikan keseimbangan antara kedua sifat tersebut. Keseimbangan ini menjadi penting untuk menghasilkan material trackpad yang mampu bekerja secara efektif pada kondisi operasional kendaraan tempur.

Berdasarkan hasil pengujian, komposisi *Carbon Black* N330 pada tingkat menengah menunjukkan performa material yang paling optimal. Komposisi ini mampu memberikan peningkatan ketahanan aus tanpa menyebabkan penurunan stabilitas deformasi yang signifikan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaturan kadar filler pada material berbasis NR–EPDM merupakan faktor utama dalam menentukan kualitas performa trackpad. Dengan demikian, material berbasis NR–EPDM dengan penambahan *Carbon Black* N330 berpotensi digunakan sebagai alternatif material trackpad yang lebih tahan terhadap pembebanan dinamis. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan material elastomer untuk kebutuhan kendaraan tempur di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

Agustine Wisojodharmo, L., Indriasari, Amry, A., Taqwatomo, G., Fidyaningsih, R., Kusuma Arti, D., Tri Utami, W., Adi Saputra, D., Dikdik Gumelar, M., Husin, S., Susanto, H., Sholeh Hidayat, A., Anggaravidya, M., Idvan, & Sholeh Iskandar, M. (2024). Influence of NR/EPDM Ratios on the Performance of Pneumatic Fenders in Seawater. *E3S Web of Conferences*, *503*, 1–9. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450306001

Gent, A. N., & Pulford, C. T. R. (1983). Mechanisms of rubber abrasion. *Journal of Applied Polymer Science*, *28*(3), 943–960. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.1983.070280304

Octaviani, A. N., Feriyanto, D., Arti, D. K., Nur, H., Raya, J., Oking, M., Atmaja, J., Citeureup, K., Bogor, K., & Barat, J. (2025). *Studi Eksperimen Pengaruh Asam Fosfat terhadap Karakteristik Material dari Natural dan EPDM Rubber Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Indonesia Fuel Cell and Hydrogen Energy PT Astra Komponen Indonesia*. *04*(02), 146–159.

Setiorini, I. A. (2019). Karakteristik termoplastik elastomer dari karet alam dan polipropilena dengan penambahan carbon black filler elastomeric thermoplastic characteristics of natural ruber aand polypropylenewith the addition of carbon black filler. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, *10*(02), 41–55.

Wahyudy, H. A., Khairizal, K., & Heriyanto, H. (2019). Perkembangan Ekspor Karet Alam Indonesia. *Dinamika Pertanian*, *34*(2), 1–8. https://doi.org/10.25299/dp.2018.vol34(2).2642