

ANALISIS SIMULASI PERBANDINGAN STRUKTURAL *TRACKPAD TANK SCORPION* MATERIAL NR–EPDM/N330 TERHADAP NR-SBR BERBASIS FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)

Akhmad Zailani Riski Siregar¹⁾, Farid Hendro Wibowo²⁾, Pradika Noviandani³⁾

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

³⁾*Politeknik Manufaktur, Bandung Indonesia*

E - mail : akhmadzailaniriski05@gmail.com

ABSTRAK

Trackpad merupakan komponen kritis pada kendaraan tempur beroda rantai yang berfungsi meredam getaran, meningkatkan traksi, dan melindungi permukaan lintasan. Penelitian sebelumnya menggunakan campuran NR–SBR masih menunjukkan kelemahan signifikan, seperti rendahnya ketahanan ozon dan abrasi, serta tidak optimal untuk iklim tropis Indonesia. Penelitian ini menganalisis performa struktural trackpad Tank Scorpion menggunakan material komposit NR–EPDM diperkuat Carbon Black N330 melalui simulasi Finite Element Analysis (FEA) berbasis model hiperelastik Ogden orde-2. Simulasi statik dan dinamik (Transient Structural) dilakukan pada lima variasi komposisi (A–E) dengan parameter keluaran meliputi total deformation, equivalent stress, equivalent strain, contact pressure, dan safety factor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa NR–EPDM mampu menurunkan deformasi rata-rata sebesar 37,83%, tegangan internal 8,83%, regangan elastis 61,44%, dan tekanan kontak 11,09% dibandingkan NR–SBR. Meskipun nilai safety factor dinamis NR–EPDM sedikit lebih rendah (rata-rata 1,45 vs 1,64), seluruh variasi tetap memenuhi kriteria keamanan struktural ($SF > 1,0$). Inovasi ini membuktikan bahwa formulasi NR–EPDM/N330 dengan pemodelan hiperelastik terkalibrasi memberikan respons struktural yang lebih stabil, tahan deformasi, dan layak diaplikasikan pada sistem penggerak rantai kendaraan tempur ringan TNI AD.

Keywords: trackpad, Tank Scorpion, NR–EPDM, carbon black N330, finite element analysis, hyperelastic model, structural performance

1. PENDAHULUAN

Keandalan kendaraan tempur beroda rantai sangat bergantung pada integritas sistem penggerak, khususnya komponen trackpad yang berperan sebagai antarmuka kontak langsung antara rantai logam dan permukaan medan. Pada Tank Scorpion TNI AD, trackpad承受 beban statik dari berat tempur (~8.740 kg) serta beban dinamik akibat rotasi rantai, getaran suspensi, dan interaksi medan tidak rata. Penelitian generasi sebelumnya menggunakan campuran NR–SBR dengan filler Carbon Black N330 menunjukkan potensi aplikasi, namun masih ditemukan kelemahan signifikan berupa laju keausan tinggi, distribusi tegangan tidak merata, dan respons deformasi besar under cyclic loading[1],[2].

Pengembangan material elastomer berbasis blending NR–EPDM menawarkan pendekatan strategis untuk mengatasi keterbatasan tersebut. NR memberikan

elastisitas tinggi dan kemampuan redaman getaran, sedangkan EPDM memiliki ikatan rantai jenuh yang unggul dalam ketahanan lingkungan, stabilitas termal, dan retensi bentuk[3],[4]. Penambahan Carbon Black N330 berfungsi sebagai reinforcing filler yang meningkatkan modulus, kekerasan, dan ketahanan abrasi melalui pembentukan jaringan polimer–filler yang homogen[5],[6]. Namun, pendekatan eksperimental konvensional belum mampu memprediksi secara akurat perilaku struktural trackpad under large deformation dan nonlinear contact.

Simulasi Finite Element Analysis (FEA) dengan model material hiperelastik telah terbukti efektif dalam merepresentasikan respons elastomer under extreme loading[7],[8]. Penelitian ini bertujuan menganalisis performa struktural trackpad Tank Scorpion berbasis NR–EPDM/N330 melalui simulasi FEA statik dan dinamik, membandingkannya dengan konfigurasi NR–

SBR terdahulu, serta mengevaluasi kelayakan teknis berdasarkan parameter deformasi, tegangan, regangan, tekanan kontak, dan safety factor. Hasil penelitian diharapkan memberikan landasan ilmiah untuk pengembangan komponen alutsista berbasis material lokal yang tangguh, efisien, dan sesuai dengan kondisi operasional medan tropis Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi komputer dengan metode Finite Element Analysis (FEA). Geometri trackpad dimodelkan secara 3D berdasarkan dimensi aktual komponen Tank Scorpion, kemudian diekspor ke lingkungan ANSYS Workbench. Material trackpad menggunakan komposit NR-EPDM dan NR-SBR dengan lima variasi komposisi (A-E) yang merepresentasikan pengaruh kadar Carbon Black N330 terhadap sifat mekanik[9],[10]. Karakterisasi material dilakukan melalui uji laboratorium (Shore A, tensile strength, elongasi, ketahanan kikis) dan diimplementasikan ke dalam ANSYS menggunakan model hiperelastik Ogden orde-2 dengan parameter μ_1 , α_1 , μ_2 , α_2 yang diperoleh melalui curve-fitting data uji tarik ASTM D412[11],[12].

Proses meshing menggunakan elemen quadratic solid (SOLID186/187) menghasilkan 14.978 nodes dan 7.247 elements dengan kepadatan tinggi pada area

kontak dan mounting pin. Boundary condition meliputi joint-displacement pada lubang pin, remote force vertikal yang merepresentasikan distribusi berat kendaraan, serta frictional contact (Augmented Lagrange) antara permukaan bawah trackpad dan tanah. Simulasi dijalankan dalam dua skema: (1) Static Structural dengan aktivasi Large Deflection = ON, dan (2) Transient Structural durasi 0,2–3 s dengan Auto Time Stepping. Parameter output yang dianalisis meliputi Total Deformation, Equivalent (von-Mises) Stress, Equivalent Elastic Strain, Contact Pressure, dan Safety Factor (dihitung pasca-simulasi: $SF = \sigma_{izin} / \sigma_{max}$)[13],[14].

3. HASIL PENELITIAN

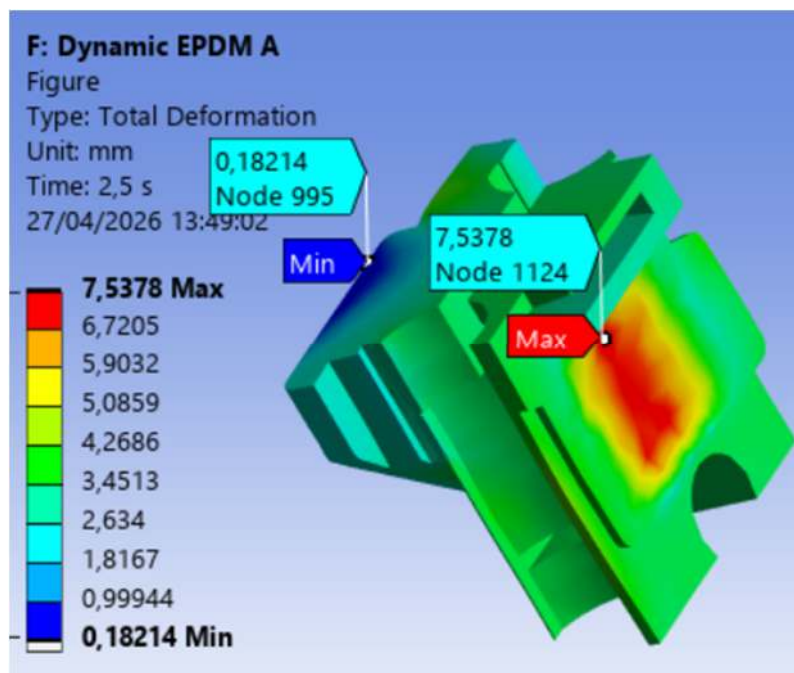
Simulasi FEA berhasil menghasilkan data kuantitatif respons struktural trackpad NR-EPDM/N330 dibandingkan NR-SBR pada kondisi pembebanan statik dan dinamik. Rekapitulasi hasil utama disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Perbandingan Rata-Rata Parameter Statik: NR-SBR vs NR-EPDM

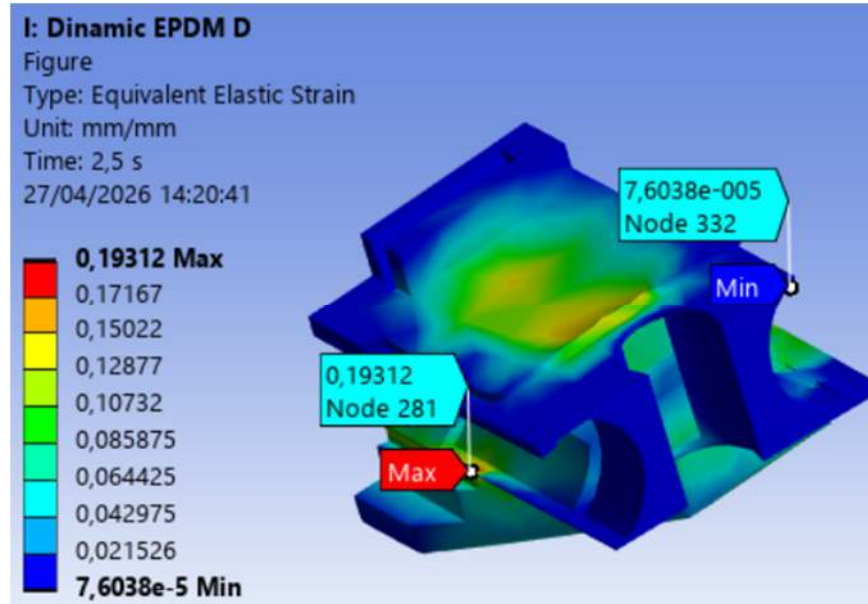
Parameter	NR-SBR (Terdahulu)	NR-EPDM (Penelitian Ini)	Selisih	Peningkatan/Performa
Deformasi Maks. (mm)	10,24	6,37	-3,87	↓ 37,83%
Stress Maks. (MPa)	1,31	1,19	-0,12	↓ 8,83%
Strain Maks. (mm/mm)	0,53	0,20	-0,33	↓ 61,44%
Contact Pressure (MPa)	1,52	1,35	-0,17	↓ 11,09%
Safety Factor (Min)	2,31	2,35	+0,04	↑ Stabil

Tabel 2. Perbandingan Rata-Rata Parameter Dinamik: NR-SBR vs NR-EPDM

Parameter	NR-SBR (Terdahulu)	NR-EPDM (Penelitian Ini)	Selisih	Peningkatan/Performa
Deformasi Maks. (mm)	10,17	6,38	-3,79	↓ 37,26%
Stress Maks. (MPa)	1,37	1,26	-0,11	↓ 8,34%
Strain Maks. (mm/mm)	0,53	0,20	-0,32	↓ 61,17%
Contact Pressure (MPa)	1,53	1,35	-0,17	↓ 11,33%
Safety Factor (Min)	1,64	1,45	-0,19	Tetap > 1,0



Gambar 1. Kontur deformasi total trackpad under loading dengan skala warna menunjukkan distribusi perpindahan



Gambar 2. Distribusi tegangan von Mises pada trackpad menunjukkan konsentrasi tegangan di area mounting pin

4. PEMBAHASAN

Hasil simulasi membuktikan bahwa substitusi NR-SBR dengan NR-EPDM/N330 secara signifikan meningkatkan stabilitas struktural trackpad. Penurunan deformasi (~37%) dan regangan (~61%) mengonfirmasi bahwa jaringan polimer NR-EPDM yang diperkuat Carbon Black N330 mampu membatasi molecular chain slippage dan menahan distorsi bentuk under large strain[15],[16]. Hal ini sejalan dengan teori hiperelastik di mana model Ogden secara akurat merepresentasikan perilaku nonlinier elastomer reinforced, khususnya pada regangan menengah-tinggi[11].

Penurunan tegangan internal (~8-9%) dan tekanan kontak (~11%) menunjukkan efisiensi distribusi beban yang lebih baik. Pada antarmuka trackpad-roadwheel/ground, tekanan yang lebih rendah berkorelasi langsung dengan penurunan laju keausan berdasarkan hukum Archard[17]. Variasi C dan B menunjukkan keseimbangan optimal antara kekakuan dan redaman, sehingga area kritis tidak mengalami akumulasi energi histeresis berlebih.

Meskipun nilai safety factor dinamis NR-EPDM tercatat sedikit lebih rendah (rata-rata 1,45 vs 1,64 pada NR-SBR), seluruh variasi tetap memenuhi ambang

aman ($SF > 1,0$). Fenomena cross-over pada SF statik/dinamik terjadi karena NR-SBR memiliki modulus awal yang lebih rendah sehingga under dynamic load, material "mengalah" lebih awal dan tidak mencapai peak stress secepat NR-EPDM. Namun, hal ini diimbangi dengan deformasi dan regangan yang jauh lebih besar pada NR-SBR, yang dalam operasional nyata akan mempercepat fatigue dan perubahan geometri permanen. NR-EPDM justru mempertahankan integritas bentuk lebih lama, menjadikannya lebih unggul secara lifecycle[18],[19].

Kalibrasi parameter Ogden, optimasi mesh density pada area kontak nonlinier, dan penerapan large deflection berhasil mengatasi anomali numerik yang umum terjadi pada simulasi hiperelastik. Konvergensi solusi yang stabil memastikan bahwa hasil ini representatif secara fisik dan layak digunakan sebagai acuan desain teknis.

PENUTUP

1. Simulasi FEA statik dan dinamik pada trackpad Tank Scorpion berbasis NR-EPDM/N330 menghasilkan distribusi deformasi, tegangan, regangan, dan tekanan

- kontak yang lebih rendah dibandingkan konfigurasi NR–SBR terdahulu.
2. NR–EPDM menurunkan deformasi ~37%, tegangan ~8%, regangan ~61%, dan tekanan kontak ~11%, dengan variasi C (hardness ~82,8 Shore A) mencatatkan performa optimal.
 3. Nilai safety factor dinamis NR–EPDM sedikit lebih rendah namun tetap berada di atas batas kritis ($SF > 1,0$), mengonfirmasi kelayakan struktural untuk aplikasi operasional.
 4. Anomali numerik berhasil diatasi melalui kalibrasi model Ogden, optimasi mesh, dan pengaturan solver nonlinear, menghasilkan konvergensi solusi yang stabil.
 5. Pembebanan dinamis akibat rotasi rantai dan interaksi medan tidak rata teridentifikasi sebagai kondisi batas paling kritis yang memengaruhi integritas trackpad.
- [4] J. K. Jung et al., "H₂ Uptake and Diffusion Characteristics in Sulfur-Crosslinked Ethylene Propylene Diene Monomer Polymer Composites with Carbon Black and Silica Fillers," *Polymers*, vol. 15, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/polym15010162.
- [5] M. Anggaravidya et al., "Comparative Analysis of NR/EPDM Ratio and Carbon Black Selection on Mechanical Properties of Vulcanized Pneumatic Fenders," *Evergreen*, vol. 10, no. 4, pp. 2145–2152, Dec. 2023, doi: 10.5109/7160889.
- [6] S. Gandhe, "Analysis of Carbon Black Proportion on Durability and Wear Behavior of EPDM Rubber," *IJARIII*, 2024.
- [7] Q. H. Jebur et al., "Hyperelastic models for the description and simulation of rubber subjected to large tensile loading," *Archives of Materials Science and Engineering*, vol. 108, no. 2, pp. 75–85, 2021.
- [8] ANSYS Inc., *ANSYS Mechanical User Guide*, 2020.

Penelitian lanjutan disarankan untuk menambahkan analisis fatigue dan life-cycle prediction guna memodelkan ketahanan material under cyclic loading jangka panjang. Implementasi reinforcement cord atau steel wire mesh dalam matriks NR–EPDM juga direkomendasikan untuk meningkatkan ketahanan sobek dan stabilitas dimensi under extreme shear stress.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Murniati et al., "Enhancing airless tire performance for military vehicles: natural rubber compound with carbon black Fillers N220 and N550 with dynamic mechanical analysis approach," *Journal of Polymer Research*, vol. 31, no. 5, May 2024, doi: 10.1007/s10965-024-03981-x.
- [2] N. K. Anam, "Pengaruh Campuran Karet NR dan SBR terhadap Sifat Fisika Kompon Karet pada Pad Shoes Single Pin Tank Scorpion TNI AD," *Tugas Akhir, Politeknik Angkatan Darat*, 2024.
- [3] C. G. Robertson and N. J. Hardman, "Nature of carbon black reinforcement of rubber: Perspective on the original polymer nanocomposite," *Polymers*, vol. 13, no. 4, 2021, doi: 10.3390/polym13040538.
- [9] I. Kudligagal, "Laporan Hasil Uji Laboratorium Sifat Mekanik Komposit Karet NR-EPDM," No. Uji 379–383/LP-BBSPJIKKP/KARET/III/26, 2026.
- [10] J. K. Jung et al., "Filler Influence on H₂ Permeation Properties in Sulfur-CrossLinked EPDM Polymers," *Polymers*, vol. 14, no. 3, Feb. 2022, doi: 10.3390/polym14030592.
- [11] R. W. Ogden, "Large deformation isotropic elasticity – on the correlation of theory and experiment for incompressible rubberlike solids," *Proceedings of the Royal Society of London A*, 1972.
- [12] ASTM D412, "Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension," *ASTM International*, 2022.
- [13] J. K. Beer, E. R. Johnston, & J. T. DeWolf, *Mechanics of Materials*, 6th ed., McGraw-Hill, 2015.
- [14] K. J. Bathe, *Finite Element Procedures*, Prentice Hall, 1996.
- [15] W. H. Wang et al., "Functionality of silk cocoon sericin extracts obtained through high-temperature hydrothermal method," *Materials*, vol. 14, no. 18, Sep. 2021.

[16] E. Harea et al., "The influence of local strain distribution on the effective electrical resistance of carbon black filled natural rubber," *Polymers*, vol. 13, no. 15, Aug. 2021.

[17] J. F. Archard, "Contact and Rubbing of Flat Surfaces," *Journal of Applied Physics*, vol. 24, no. 8, pp. 981–988, 1953.

[18] T. Zhang et al., "Fretting wear behavior of three kinds of rubbers under sphere-on-flat contact," *Materials*, vol. 14, no. 9, May 2021.

[19] V. Gopalakrishnan & C. Ramaswamy, "Patient opinion mining to analyze drugs satisfaction using supervised learning," *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 15, no. 4, pp. 311–319, Aug. 2017.