



UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

**KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT SERAT TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT - KARET ALAM UNTUK PEREDAM MEKANIK
BALISTIK PADA ROMPI ANTI PELURU**

ELLSA PUTRI HAZIZA 320210304010

**Skripsi yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana**

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER

PROGRAM STUDI FISIKA

BOGOR, 2025

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Ellsa Putri Haziza
NIM : 320210304010
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul : Karakterisasi Material Komposit Serat Tandan
Kosong Kelapa Sawit – Karet Alam Untuk Peredam
Mekanik Balistik Pada Rompi Anti Peluru

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



M. Zuhnir P., S.Si., M.Eng.
Kolonel Tek. NRP. 522657
Tanggal: 7 Agustus 2025



Dr. Drs. Ade Sholeh Hidayat, MT., IPU.
NIP. 196809191993121001
Tanggal: 6 Agustus 2025

Mengetahui,

Kepala Program Studi Fisika

Dekan Fakultas MIPA Militer,



M. Zuhnir P., S.Si., M.Eng.
Kolonel Tek. NRP. 522657
Tanggal: 7 Agustus 2025



Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M. Si
NIP. 196410021989031002
Tanggal: 11/8-2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Ellsa Putri Haziza
NIM : 320210304010
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul : Karakterisasi Material Komposit Serat Tandan Kosong
Kelapa Sawit – Karet Alam Untuk Peredam Mekanik Balistik
Pada Rompi Anti Peluru

No.	Nama	Tanda tangan	Tanggal
1.	Dosen Pembimbing I M. Zuhnr Piliang, S.Si., M. Eng. Kolonel Tek NRP. 522657		7/08 2025
2.	Dosen Pembimbing II Dr. Drs. Ade Sholeh Hidayat, MT., IPU. NIP. 196809191993121001		6/8 2025
3.	Dosen Penguji I Dr. Riri Murniati, M.Si. NIP. 199001202022032002		6/8 2025
4.	Dosen Penguji II Nur Asriyani, S.Si., M. Si NUPTK. 1144775676230153		6/8 2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau bagian karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan jenjang apapun di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat istilah, frasa, kalimat, paragraph, subbab atau bab dari karya yang pernah ditulis atau diterbitkan kecuali yang secara tertulis diajukan dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat plagiat dalam skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan/undang undang yang berlaku.

Bogor, 11 Agustus 2025



Ellsa Putri Haziza

LEMBAR PERNYATAAN PERSETJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Pertahanan Republik Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ellsa Putri Haziza

NIM : 320210304010

Program Studi : Sarjana Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Militer

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Republik Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Karakterisasi Material Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit – Karet Alam Untuk Peredam Mekanik Balistik Pada Rompi Anti Peluru

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak Menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bogor
Pada tanggal : 11 Agustus 2025
Yang menyatakan



Ellsa Putri Haziza

NIM.320210304010

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat Rahmat dan karunia-Nya penulisan skripsi dengan judul: “Karakterisasi Material Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit – Karet Alam Untuk Peredam Mekanik Balistik Pada Rompi Anti Peluru” dapat diselesaikan.

Penyusunan skripsi ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer Universitas Pertahanan RI.

Penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, pada kesempatan ini Kadet Mahasiswa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si. selaku Dekan Fakultas MIPA Militer Universitas Pertahanan RI.
2. Bapak Kolonel Tek. M. Zuhnir P., S.Si., M.Eng. selaku Kepala Program Studi Fisika Universitas Pertahanan RI.
3. Bapak Kolonel Tek. M. Zuhnir P., S.Si., M.Eng. dan Bapak Dr. Drs. Ade Sholeh Hidayat, MT., IPU. selaku Dosen Pembimbing I dan II.
4. Segenap Dosen Fakultas MIPA Militer Universitas Pertahanan RI.
5. Segenap Tim Kelompok Riset Karet Teknologi Tinggi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Serpong.
6. Kedua orang tua penulis, Alm. Endang Achmadi dan Almh. Put Hendari yang telah memberikan cinta, doa dan pengorbanan tanpa batas sepanjang hidup mereka.
7. Om Penulis, Mayjen TNI (Purn) Dr.Dr. Ir. Pujo Widodo, SE., SH., ST., MA., M.Si., MDS., M. Si (Han) & Tante Penulis, Dr. Nining Parlina, S. Pd., Gr., M. Si (Han) yang telah memberikan dukungan baik moral,

material maupun spiritual sehingga penulis dapat terus berjuang untuk menyelesaikan skripsi ini.

8. Kakak penulis, Ellen Putri Manggarini dan segenap keluarga besar penulis yang telah memberikan izin, dukungan moral, material, serta doa yang tiada terputus.
9. Keluarga Fisika Militer *Cohort* I, II, III, IV dan V yang banyak membantu dan menopang kontak sosial penulis selama melakukan penelitian.
10. Dan pihak lainnya yang tidak mampu penulis tuliskan satu persatu.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan-kebaikan berbagai pihak atas bantuannya. Saya menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, oleh karena itu dengan kerendahan hati mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat terhadap pengembangan ilmu pertahanan dalam mendukung pertahanan dan keamanan negara.

Bogor, 11 Agustus 2025



Ellsa Putri Haziza

ABSTRAK

**KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT SERAT TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT – KARET ALAM UNTUK PEREDAM MEKANIK
BALISTIK PADA ROMPI ANTI PELURU**

Peredaman mekanik berperan penting dalam mengurangi getaran yang dapat merusak peralatan, menurunkan efisiensi operasional, dan mengganggu kenyamanan pengguna. Penelitian ini mengkaji pengaruh penambahan serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan karbon hitam terhadap sifat mekanik dan kemampuan redaman komposit berbasis karet alam sebagai lapisan peredam mekanik untuk aplikasi rompi antipeluru. Serat TKKS diproses melalui perlakuan alkali dan dikombinasikan dalam bentuk serat dan serbuk menggunakan *two roll mill*. Dari sepuluh formulasi, varian V7 (30% serat TKKS + 10% karbon hitam) menunjukkan performa paling optimal, dengan kekerasan stabil setelah penuaan, ketahanan pantul sebesar 71,66%, kekuatan tarik pasca-*aging* mencapai 12,06 N/mm², serta energi serap sebesar 5397,825 N·mm. Karakterisasi redaman menggunakan *Dynamic Mechanical Analyzer* menunjukkan bahwa V7 memiliki nilai $\tan \delta$ tinggi dan distribusi redaman yang stabil pada suhu -50°C hingga -30°C, serta kestabilan modulus penyimpanan (E') pada berbagai suhu. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan material komposit ramah lingkungan yang dapat digunakan sebagai lapisan peredam mekanik yang efektif dan andal, dengan potensi aplikasi pada rompi antipeluru, menggabungkan kekuatan mekanik, elastisitas, ketahanan sobek, dan kestabilan redaman termal.

Kata Kunci: TKKS, Karet alam, Komposit, Lapisan peredam mekanik.

ABSTRACT

**MATERIAL CHARACTERIZATION OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH
FIBER–NATURAL RUBBER COMPOSITES FOR MECHANICAL
DAMPING APPLICATIONS IN BULLETPROOF VESTS**

Mechanical damping plays an important role in reducing vibrations that can damage equipment, decrease operational efficiency, and disrupt user comfort. This study investigates the effect of adding empty fruit bunches (TKKS) fibers and carbon black on the mechanical properties and damping performance of natural rubber-based composites as a mechanical damping layer for ballistic vest applications. The TKKS fibers were processed through an alkaline treatment and combined in the form of fibers and powder using a two-roll mill. Of the ten formulations, variant V7 (30% TKKS fibers + 10% carbon black) showed the most optimal performance, with stable hardness after aging, a rebound resilience of 71.66%, post-aging tensile strength of 12.06 N/mm², and energy absorption of 5397.825 N·mm. Damping characterization using a Dynamic Mechanical Analyzer showed that V7 had a high $\tan \delta$ value and stable damping distribution at temperatures ranging from -50°C to -30°C, along with stable storage modulus (E') across various temperatures. This study contributes to the development of an environmentally friendly composite material that can be used as an effective and reliable mechanical damping layer, with potential applications in ballistic vests, combining mechanical strength, elasticity, tear resistance, and thermal damping stability.

Keywords: OPEFB, Natural rubber, Composite, Mechanical damping layers.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.4.1 Manfaat Teoritis	3
1.4.2 Manfaat Praktis	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1 Peredam Mekanik Balistik	5
2.1.2 Rompi Anti Peluru	6
2.1.3 Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit	9
2.1.4 Karet Alam	9
2.1.5 Komposit	11
2.1.6 Teori Dasar Karet	12
2.1.7 Teori Tegangan Regangan	12
2.1.8 Teori Redaman	14
2.2 Hasil Penelitian Terdahulu	16

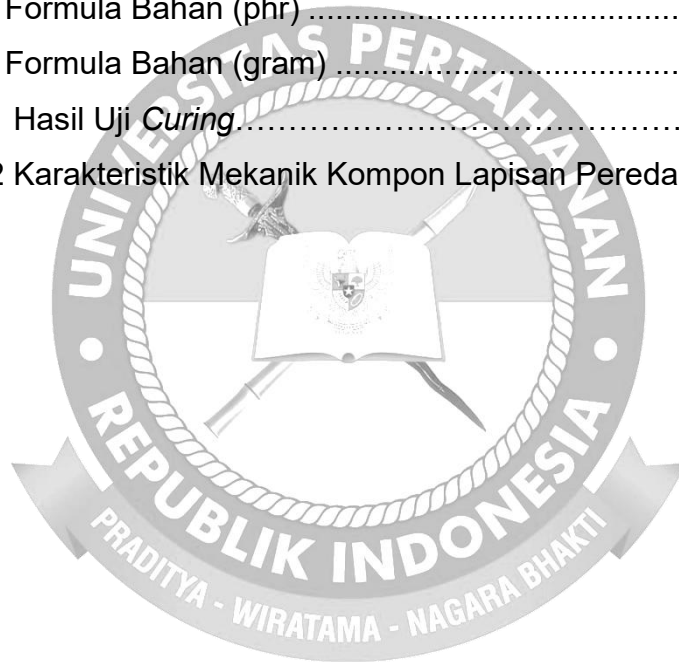
2.3	Kerangka Berpikir.....	18
2.4	Hipotesis.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		19
3.1	Metode dan Desain Penelitian.....	19
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.3	Alat dan Bahan.....	20
3.4	Variabel Penelitian.....	21
3.5	Prosedur Penelitian.....	21
3.5.1	Tahap <i>Treatment</i> Serat TKKS.....	22
3.5.2	Tahap Pembuatan Kompon Karet.....	23
3.5.3	Tahap Karakterisasi Material dan Pengambilan Data.....	25
3.6	Metode Analisis.....	32
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1	Hasil.....	33
4.1.1	Karakteristik <i>Curing</i>	33
4.1.2	Sifat Mekanik Kompon.....	34
4.1.3	Uji Densitas, Abrasi, dan <i>Rebound</i>	36
4.1.4	Uji Mikroskopik.....	37
4.1.6	Uji Redaman.....	40
4.2	Pembahasan.....	43
4.2.1	Karakteristik <i>Curing</i>	43
4.2.2	Sifat Mekanik Kompon.....	44
4.2.3	Uji Densitas (<i>Density</i>).....	47
4.2.4	Uji Abrasi (<i>Abrasion</i>).....	48
4.2.5	Uji Mikroskopik.....	48
4.2.6	Uji Redaman.....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		52
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....		54
LAMPIRAN.....		60

DAFTAR GAMBAR

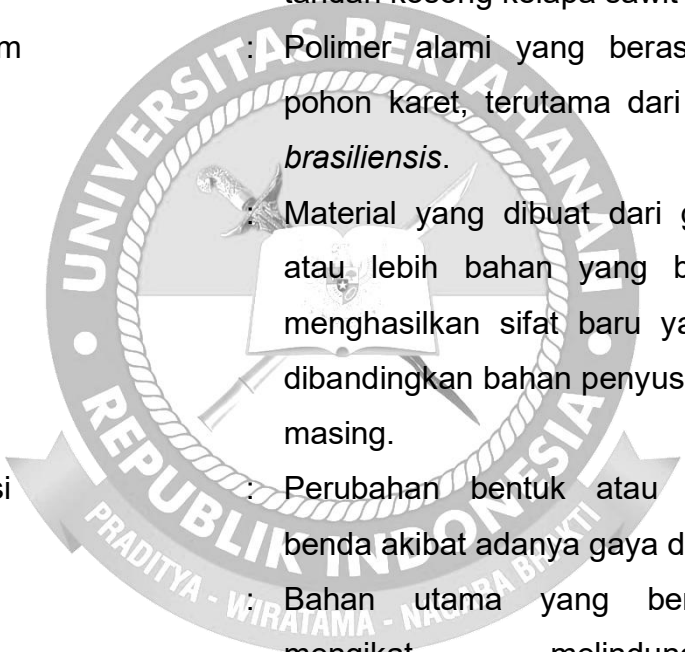
Gambar 2. 1 Struktur Kimia Karet Alam	10
Gambar 2. 2 Struktur Komposit	11
Gambar 2. 3 Tegangan yang bekerja pada suatu bidang xy	14
Gambar 2. 4 Kerangka Berpikir Penelitian	18
Gambar 3. 1 Prosedur Penelitian	22
Gambar 3. 2 Alat Pengujian Kekerasan	26
Gambar 3. 3 Alat Pengujian <i>Compression Set</i>	27
Gambar 3. 4 Alat Pengujian Ketahanan Pantul	28
Gambar 3. 5 Alat Pengujian Abrasi	29
Gambar 3. 6 UTM 25 kN, Alat Pengujian kekuatan tarik, ketahanan sobek dan perpanjangan putus	31
Gambar 3. 7 <i>Polarizing Microscope</i>	31
Gambar 3. 8 Alat pengujian DMA (<i>Dynamic Mechanical Analyzer</i>)	32
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength</i>), Ketahanan Sobek (<i>Tear Strength</i>), dan Perpanjangan Putus (<i>Elongation at Break</i>)	35
Gambar 4. 2 Hasil Uji Kekerasan (<i>Hardness</i>) dan <i>Compression Set</i>	36
Gambar 4. 3 Hasil Uji Densitas, Abrasi, dan <i>Rebound</i>	37
Gambar 4. 4 Hasil Uji Mikroskopik V1, V2, dan V3	38
Gambar 4. 5 Hasil Uji Mikroskopik V4, V5, V6, V7	39
Gambar 4. 6 Hasil Uji Mikroskopik V8, V9, V10	40
Gambar 4. 7 $\tan \delta$ Pada Frekuensi 10 Hz	41
Gambar 4. 8 Modulus Penyimpanan Pada Frekuensi 10 Hz	42
Gambar 4. 9 Modulus Kehilangan Pada Frekuensi 10 Hz	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Daftar standar pada jenis pelindung balistik	7
Tabel 2. 2 <i>Mechanical and physical properties of oil palm empty fruit bunch fiber (OPEFB)</i>	9
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu	16
Tabel 3. 1 Rincian Waktu Penelitian	20
Tabel 3. 2 Formula Bahan (phr)	23
Tabel 3. 3 Formula Bahan (gram)	24
Tabel 4. 1 Hasil Uji <i>Curing</i>	33
Tabel 4. 2 Karakteristik Mekanik Kompon Lapisan Peredam.....	34



DAFTAR ISTILAH



Lapisan Peredam Mekanik	: Material atau lapisan yang berfungsi untuk meredam getaran, suara, atau energi mekanik di dalam suatu sistem.
Serat TKKS	: Serat TKKS adalah serat yang diambil dari tandan kosong kelapa sawit
Karet Alam	: Polimer alami yang berasal dari getah pohon karet, terutama dari pohon <i>Hevea brasiliensis</i> .
Komposit	: Material yang dibuat dari gabungan dua atau lebih bahan yang berbeda untuk menghasilkan sifat baru yang lebih baik dibandingkan bahan penyusunnya masing-masing.
Deformasi	: Perubahan bentuk atau ukuran suatu benda akibat adanya gaya dari luar.
Matriks	: Bahan utama yang berfungsi untuk mengikat, melindungi, dan mendistribusikan beban ke material penguat (seperti serat).
Karakterisasi	: Proses mengidentifikasi, menggambarkan, dan memahami sifat-sifat suatu material atau benda.
Aging	: Proses perubahan sifat fisik, kimia, atau mekanik suatu material seiring waktu, biasanya akibat paparan lingkungan seperti suhu, udara, kelembaban, cahaya, atau bahan kimia.

Elastisitas : Kemampuan suatu material untuk kembali ke bentuk semula setelah diberi gaya dan dilepaskan.

Formula : Rumus atau susunan yang menggambarkan hubungan antara berbagai elemen atau komponen dalam suatu sistem.

