



**KARAKTERISTIK KETAHANAN *IMPACT*
MATERIAL *HYBRID COMPOSITE* DENGAN
MATRIKS *EPOXY***

SKRIPSI

MUHAMMAD UMAR YAFI

2210311100

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

2026



**KARAKTERISTIK KETAHANAN *IMPACT*
MATERIAL *HYBRID COMPOSITE* DENGAN
MATRIKS *EPOXY***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

MUHAMMAD UMAR YAFI

2210311100

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

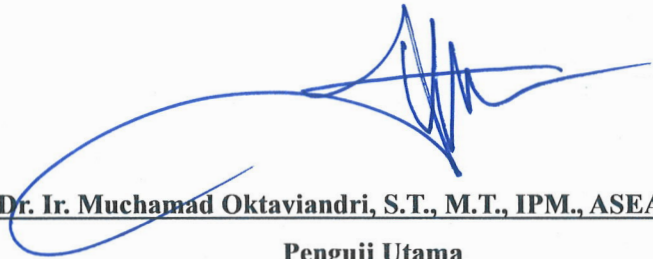
2026

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Umar Yafi
NIM : 2210311100
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Karakteristik Ketahanan *Impact Material Hybrid Composite* Dengan Matriks Epoxy

Telah berhasil dipertahankan dihadapan para penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

Penguji Utama



M. Arifudin Lukmana, S.T., M.T.

Penguji Lembaga



Dr. Eng. Riki Hendra Purba, S.T., M.Eng

Penguji III (Pembimbing)



Dr. Eng. Ir. Teguh Firmansyah, S.T.,

M.T., IPM

Dekan Fakultas Teknik



Ir. Fahrudin, S.T., M.T.

Kepala Program Studi S-1 Teknik Mesin

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal Ujian : 10 Juni 2026

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi diajukan oleh :

Nama : Muhammad Umar Yafi
NIM : 2210311100
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Karakteristik Ketahanan *Impact Material Hybrid Composite Dengan Matriks Epoxy*

Telah dikoreksi atau diperbaiki oleh penulis sesuai arahan dari dosen pembimbing dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.

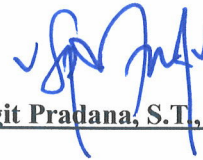
Menyetujui,



Dr. Eng. Riki Hendra Purba, S.T.,

M.Eng

Pembimbing I



Sigit Pradana, S.T., M.T.,

Pembimbing II

Mengetahui,



Ir. Fahrudin, S.T., M.T.

Kepala Program Studi S-1 Teknik Mesin

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Umar Yafi

NIM : 2210311100

Program Studi : Teknik Mesin

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 10 Juni 2026

Yang menyatakan,



Muhammad Umar Yafi

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Saya yang akan bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Umar Yafi
NIM : 2210311100
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

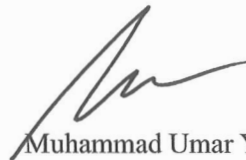
**“KARAKTERISTIK KETAHANAN *IMPACT* MATERIAL *HYBRID*
COMPOSITE DENGAN Matriks *EPOXY*”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) dengan Hak Bebas Royalti ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 10 Juni 2026

Yang menyatakan,


Muhammad Umar Yafi

KARAKTERISTIK KETAHANAN *IMPACT* MATERIAL *HYBRID COMPOSITE* DENGAN MATRIKS *EPOXY*

Muhammad Umar Yafi

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik ketahanan *impact* material *hybrid composite* dengan matriks *epoxy* melalui pendekatan eksperimental dan numerik. Material komposit disusun dari kombinasi beberapa jenis serat dalam bentuk laminasi untuk meningkatkan performa mekanik terhadap beban dinamis. Pengujian eksperimental dilakukan menggunakan metode uji *impact* Charpy untuk menentukan kemampuan penyerapan energi, serta analisis morfologi patahan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) guna mengidentifikasi mekanisme kegagalan. Selain itu, analisis numerik direncanakan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) untuk mendukung pemahaman distribusi tegangan dan perilaku material saat pembebanan *impact*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai energi serap sangat dipengaruhi oleh konfigurasi laminasi dan interaksi antar material penyusun. Analisis SEM mengungkapkan bahwa mekanisme kegagalan yang dominan meliputi retak matriks, delaminasi antar lapisan, penarikan serat, dan patah serat, di mana mekanisme *fiber pull-out* dan delaminasi berkontribusi terhadap peningkatan ketangguhan melalui penyerapan energi tambahan sebelum kegagalan total. Dengan demikian, ketahanan *impact hybrid composite* ditentukan oleh struktur laminasi, kualitas ikatan antarmuka, serta kombinasi material penyusun, sementara analisis numerik diharapkan dapat memberikan validasi dan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap perilaku mekanik material tersebut.

Kata kunci: *hybrid composite*, *impact*, Charpy, SEM, FEA, ketangguhan, mekanisme kegagalan

CHARACTERIZATION OF IMPACT RESISTANCE IN HYBRID COMPOSITE MATERIALS WITH EPOXY MATRIX

Muhammad Umar Yafi

ABSTRACT

This study aims to analyze the impact resistance characteristics of hybrid composite materials with an epoxy matrix through both experimental and numerical approaches. The composite materials are composed of a combination of different fibers arranged in a laminated structure to enhance mechanical performance under dynamic loading conditions. Experimental testing was conducted using the Charpy impact method to evaluate energy absorption capability, followed by fracture surface analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM) to identify the dominant failure mechanisms. In addition, numerical analysis using the Finite Element Analysis (FEA) method is intended to support the understanding of stress distribution and material behavior under impact loading. The results indicate that the absorbed impact energy is significantly influenced by the laminate configuration and the interaction between constituent materials. SEM observations reveal that the dominant failure mechanisms include matrix cracking, interlaminar delamination, fiber pull-out, and fiber breakage, where fiber pull-out and delamination contribute to improved toughness through additional energy absorption prior to complete failure. Therefore, the impact resistance of hybrid composites is governed by laminate structure, interfacial bonding quality, and material combination, while numerical analysis is expected to provide validation and a more comprehensive understanding of the material's mechanical behavior.

Keywords: *hybrid composite, impact, Charpy, SEM, FEA, toughness, failure mechanisms*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas rahmat dan nikmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang berjudul “ Karakteristik Ketahanan *Impact* Material *Hybrid Composite* Dengan Matriks *Epoxy*” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.

Penulis memperoleh banyak pengalaman dan wawasan yang sangat berharga dalam bidang akademik dan keterampilan praktis dalam teknik mesin selama proses penyusunan skripsi ini. Pengalaman tersebut memberi penulis bekal yang sangat berarti untuk membangun keterampilan profesional mereka di masa depan. Penulis menyadari bahwa banyak orang membantu, membantu, dan mendoakan mereka selama penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas kasih, penyertaan, dan anugerah-Nya yang senantiasa memberikan kekuatan dan pengharapan di setiap langkah.
2. Kedua Orang tua dan adik tercinta yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan moral, dan bantuan materiil tanpa henti.
3. Bapak Dr. Eng. Riki Hendra Purba, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Sigit Pradana, S.T., MT. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan waktu, perhatian, dan masukan berharga dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Fahrudin, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, yang telah memberikan izin, dukungan, dan arahan selama proses penelitian berlangsung.
6. Seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin UPN Veteran Jakarta, yang telah memberikan ilmu, wawasan, serta bimbingan akademik selama masa perkuliahan.
7. Para sahabat penulis yaitu Afiff Kusumah, Arsyad Aufa, Alif Ramadhan, Aiman Ash, Faishal Fadhilah, Mikhail Galang, Faiz Ata, Khiar Mumtaz, Rizki Fitriadi, Farhan Mukti, Sayyaf Zuhdi, Royyan Adnanda, Rainer Samuel, Rakan, Daus, Altherae Nira, Kayla Yamin, Ferry Maulidin, rekan-rekan konsentrasi material, dan

Keluarga Besar Teknik Mesin OPTIMIS 2022 yang selalu memberikan dukungan, kebersamaan, serta semangat dalam setiap situasi.

Penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf apabila terdapat kekurangan, baik dalam penyusunan maupun isi penelitian. Segala bentuk kritik dan saran yang membangun akan sangat berarti bagi perbaikan penelitian di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap semoga karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan secara umum, serta bagi kemajuan ilmu di bidang teknik mesin secara khusus.

Jakarta, Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Batasan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. <i>Impact</i>	8
2.1.1. Konsep Ketangguhan Material.....	8
2.1.2. Prinsip Kerja Uji Izod dan Charpy	9
2.1.3. Faktor yang Memengaruhi Uji <i>Impact</i>	13
2.1.4. Mode Kegagalan pada Uji <i>Impact</i> Komposit.....	16
2.1.4.1. Retak Matriks (<i>Matrix Cracking</i>)	17
2.1.4.2. Penarikan Serat (<i>Fiber Pull-Out</i>).....	18

2.1.4.3.	Delaminasi Antar Lapisan (<i>Interlaminar Delamination</i>).....	19
2.1.4.4.	Patah Serat (<i>Fiber Breakage</i>).....	20
2.2.	Komposit.....	21
2.2.1.	Sifat Fisik dan Mekanis.....	21
2.2.2.	Klasifikasi Komposit.....	22
2.2.3.	Material Penyusun Komposit.....	24
2.2.4.	Struktur Orientasi dan Laminasi Serat	26
2.2.5.	Pengaruh Hibridisasi terhadap Sifat Mekanis	28
2.3.	<i>Finite Element Analysis</i> (FEA)	29
2.3.1.	Prinsip Dasar FEA	30
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		33
3.1.	Waktu Penelitian	33
3.2.	Tempat Penelitian.....	33
3.3.	Diagram Alir Penelitian.....	33
3.4.	Prosedur Penelitian.....	34
3.4.1.	Studi Literatur	34
3.4.2.	Persiapan Alat dan Bahan.....	35
3.4.3.	Pembuatan Spesimen Pengujian	35
3.4.4.	Evaluasi Spesimen	36
3.4.5.	Pengujian.....	37
3.4.6.	Pengumpulan Data	37
3.4.7.	Analisis Data	38
3.4.8.	Perumusan Hasil	38
3.5.	Alat dan Bahan.....	38
3.5.1.	Alat.....	38
3.5.2.	Bahan.....	41
3.6.	Desain Spesimen Pengujian	42
3.7.	Pengelolaan Spesimen Komposit untuk Pengujian.....	42
3.8.	Pengujian Ketangguhan menggunakan <i>Impact Tester Charpy</i>	42
3.8.1.	Menyiapkan Spesimen Uji	42
3.8.2.	Menyiapkan Mesin Uji.....	43
3.8.3.	Proses Penempatan Spesimen	43
3.8.4.	Proses Pengujian	43

3.8.5.	Pencatatan dan Analisis Data	43
3.9.	Analisis FEA	43
3.9.1.	Pembuatan Model Geometri	44
3.9.2.	Penentuan Sifat Material	44
3.9.3.	Penentuan Tipe Elemen dan <i>Meshing</i>	45
3.9.4.	Penentuan Kondisi Batas dan Kontak	45
3.9.5.	Proses Simulasi <i>Impact</i> Menggunakan FEA.....	45
3.9.6.	Analisis dan Interpretasi Hasil Simulasi	45
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1.	Hasil Pengujian <i>Impact</i>	46
4.1.1.	Energi Serap <i>Impact</i>	46
4.1.2.	Perbandingan Antar Spesimen	47
4.2.	Hasil Pengamatan SEM.....	48
4.2.1.	Identifikasi Mekanisme Kegagalan.....	48
4.3.	Hasil Simulasi FEA.....	51
4.3.1.	<i>Mesh Convergence Test</i>	51
4.3.2.	Tegangan <i>von Mises</i>	52
4.3.3.	<i>Internal Energy</i>	55
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1.	Kesimpulan	58
5.2.	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Kurva <i>Stress- Strain</i>	8
Gambar 2. 2. Prinsip Kerja Uji <i>Impact</i> dan Metode Izod.....	11
Gambar 2. 3. Metode Charpy	12
Gambar 2. 4. Pengaruh Bentuk dan Ukuran Takik Terhadap Energi <i>Impact</i>	13
Gambar 2. 5. Pengaruh Laju Pembebanan Terhadap Ketangguhan	14
Gambar 2. 6. Mode Kegagalan pada Uji Impak Komposit	17
Gambar 2. 7. Mekanisme <i>Matrix Cracking</i> pada Komposit.....	17
Gambar 2. 8. Mekanisme <i>Fiber Pullout</i> pada Komposit.....	18
Gambar 2. 9. Mekanisme <i>Interlaminar Delamination</i> pada Komposit.....	19
Gambar 2. 10. Mekanisme <i>Fiber Breakage</i> pada Komposit	20
Gambar 3. 1. Laboratorium Manufaktur FT UPN Veteran Jakarta	33
Gambar 3. 2. Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3. 3. Mesin CNC <i>Milling</i> Hartford VMC850.....	38
Gambar 3. 4. Mesin Uji <i>Impact</i> Charpy	39
Gambar 3. 5. Timbangan Digital	39
Gambar 3. 6. Kuas	39
Gambar 3. 7. Kuas Rol	40
Gambar 3. 8. Pengaduk Resin	40
Gambar 3. 9. Laptop HP Victus 15	40
Gambar 3. 10. (a) <i>Fiberglass</i> Acak, (b) <i>Fiberglass</i> Woven.....	41
Gambar 3. 11. <i>Fiber Carbon</i>	41
Gambar 3. 12. Resin <i>Epoxy</i> dan <i>Hardener</i>	41
Gambar 3. 13. Desain Spesimen Pengujian sesuai Standar ASTM D6110	42
Gambar 3. 14. Geometri Simulasi FEA.....	44
Gambar 4. 1. Grafik Perbandingan Energi <i>Impact</i> pada Variasi Material Komposit	47
Gambar 4. 2. Morfologi SEM Patahan Hasil Uji <i>Impact</i> pada Komposit <i>Fiberglass Woven</i> dan <i>Fiber Carbon</i> dengan Perbesaran (a) 100× dan (b) 200× .	49
Gambar 4. 3. Morfologi SEM Patahan Hasil Uji <i>Impact</i> pada Komposit <i>Fiberglass</i> Acak dan <i>Fiber Carbon</i> dengan Perbesaran (a) 100× dan (b) 200× ...	50
Gambar 4. 4. Grafik <i>Mesh Convergence Test</i>	51

Gambar 4. 5. Distribusi Tegangan <i>von Mises</i> pada Variasi <i>Fiberglass Woven</i> dengan <i>Fiber Carbon</i> : (a) Tampilan Global Spesimen, (b) Pembesaran pada Area <i>Notch</i>	53
Gambar 4. 6. Distribusi Tegangan <i>von Mises</i> pada Variasi <i>Fiberglass Acak</i> dengan <i>Fiber Carbon</i> : (a) Tampilan Global Spesimen, (b) Pembesaran pada Area <i>Notch</i>	54
Gambar 4. 7. Grafik Perbandingan <i>Internal Energy</i> Tiap Variasi	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Pengaruh Material terhadap Energi <i>Impact</i>	16
Tabel 2. 2. Perbedaan Sifat pada Jenis <i>E-glass</i> dan <i>S-glass</i>	25
Tabel 3. 1. Spesifikasi HP Victus 15.....	41
Tabel 3. 2. Sifat Mekanis Material untuk Simulasi	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesimen Uji *Impact* Variasi *Fiberglass Woven* dan *Fiber Carbon*

Lampiran 2. Spesimen Uji *Impact* Variasi *Fiberglass Acak* dan *Fiber Carbon*

Lampiran 3. Tabel Data Pengujian *Impact*

Lampiran 4. Proses Fabrikasi Spesimen

Lampiran 5. Proses Pengujian *Impact*

Lampiran 6. *Setup* Simulasi Uji *Impact* pada FEA