

SKRIPSI

**PENGARUH PROSES *ANNEALING* MATERIAL *POLYLACTIC
ACID* (PLA) PADA VARIASI TABUNG *HONEYCOMB*
TERHADAP *CRASHWORTHINESS***



Intelligentia - Dignitas

Disusun Oleh:

Eko Nur Saputra 1520621002

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2026

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Pengaruh Proses *Annealing* Material *Polylactic Acid*
(PLA) Pada Variasi Tabung *Honeycomb* Terhadap
Crashworthiness

Penyusun : Eko Nur Saputra

NIM : 1520621002

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Pembimbing I : Dr. Ahmad Kholil, M.T.

Pembimbing II : Dr. Eng I Wayan Sugita, M.T.

Tanggal Ujian : 20 Januari 2026

Disetujui Oleh:

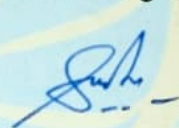
Pembimbing I



Dr. Ahmad Kholil, M.T.

NIP. 197908312005011001

Pembimbing II



Dr. Eng. I Wayan Sugita, M.T.

NIP. 197911142012121001

Pengesahan Panitia Ujian Skripsi
Sekretaris Penguji,

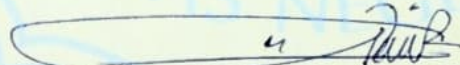
Ketua Penguji,

Dosen Ahli,



Dr. Imam Basori, M.T.

NIP. 1979060720081210003



Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T.

NIP. 197604222006041001



Bagus Anggraini, S.Pd., M.T.

NIP. 199611092025061004

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Teknik Mesin,
Universitas Negeri Jakarta



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.

NIP. 197911022012121001

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Eko Nur Saputra
No. Registrasi : 1520621002
Tempat, Tanggal Lahir : Kebumen, 4 Oktober 2002
Alamat : Jl. Palapa VII No.86 RT.016/001, Kel. Kedoya Selatan
Kec. Kebon Jeruk, Kota Jakarta Barat, DKI Jakarta,
11520

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 22 Januari 2026

Yang membuat pernyataan,



Eko Nur Saputra

No. Reg. 1520621002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
UPT PERPUSTAKAAN

Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili: 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Eko Nur Saputra
NIM : 1520621002
Fakultas/Prodi : Fakultas Teknik/Teknik Mesin
Alamat email : eko.saputra789ok@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

Pengaruh Proses *Annealing* Material *Polylactic Acid* (PLA) Pada Variasi Tabung *Honeycomb* Terhadap *Crashworthiness*

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 22 Januari 2026
Penulis

Eko Nur Saputra

KATA PENGANTAR

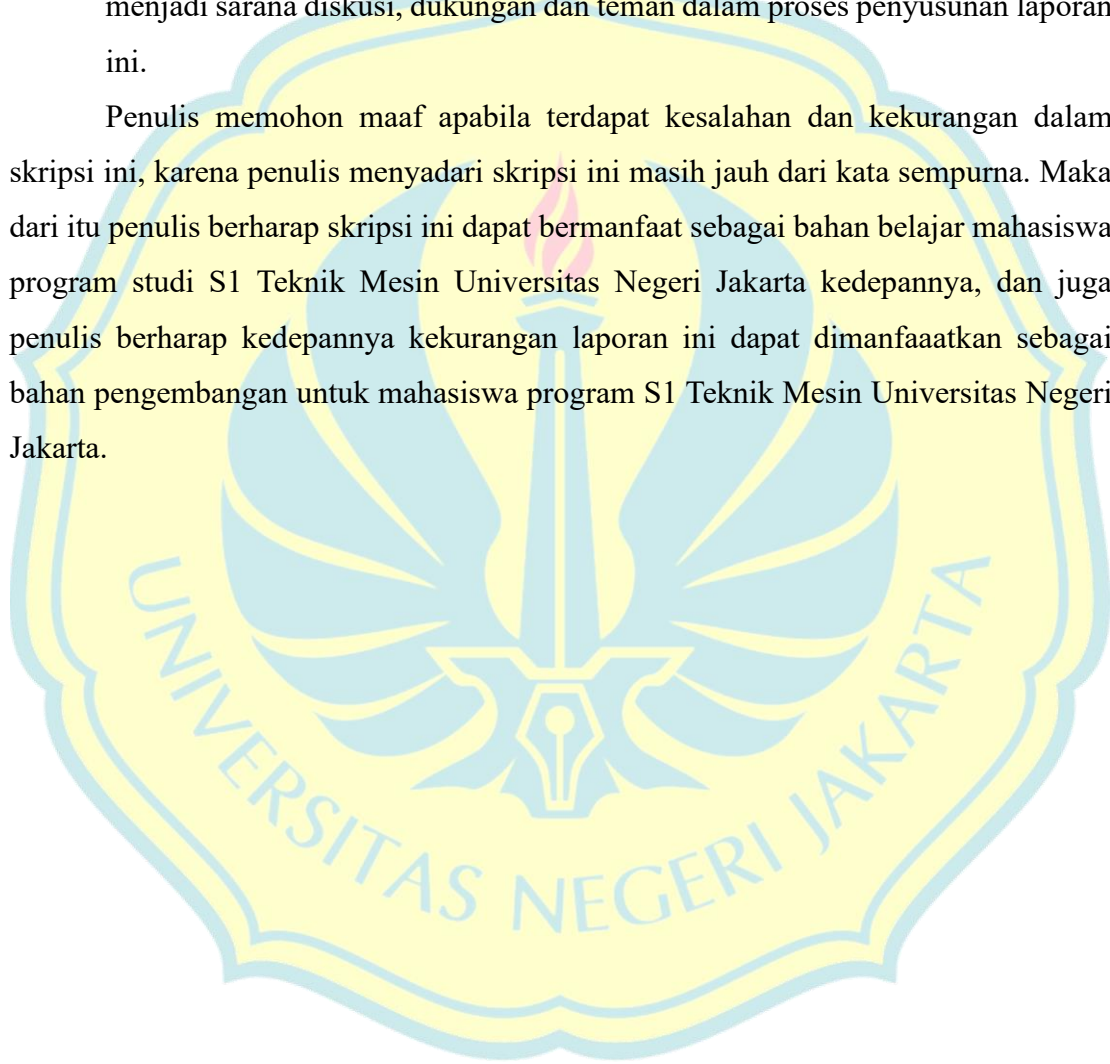
Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan seminar proposal ini yang berjudul **“PENGARUH PROSES *ANNEALING* MATERIAL *POLYLACTIC ACID* (PLA) PADA VARIASI TABUNG *HONEYCOMB* TERHADAP *CRASHWORTHINESS*”** Seminar proposal ini disusun untuk memenuhi syarat meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Skripsi ini dapat diselesaikan karena adanya bantuan dari banyak pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. selaku koordinator program studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
2. Bapak Dr. Ahmad Kholil, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan dorongan semangat kepada penulis dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Eng. I Wayan Sugita, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan dorongan semangat kepada penulis dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Rezky Alfian Fauzi, S.Pd. selaku teknisi mesin uji tekan yang telah membantu penulis dalam melaksanakan pengujian spesimen di laboratorium Pengujian Bahan Bangunan Fakultas Teknik.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen pengampu mata kuliah di program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta, yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan sehingga penulis memiliki bekal untuk menyelesaikan laporan ini.
6. Seluruh Staff/Pegawai Administrasi di Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta, yang telah membantu dalam perihal administrasi sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.

7. Kedua orang tua yang penulis sayangi yang telah memberikan semangat, nasihat, doa, dan juga dukungan material dalam menyelesaikan penyusunan skripsi.
8. Seluruh teman-teman mahasiswa program studi S1 Teknik Mesin yang telah menjadi sarana diskusi, dukungan dan teman dalam proses penyusunan laporan ini.

Penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dan kekurangan dalam skripsi ini, karena penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Maka dari itu penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat sebagai bahan belajar mahasiswa program studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta kedepannya, dan juga penulis berharap kedepannya kekurangan laporan ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengembangan untuk mahasiswa program S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.



Intelligentia - Dignitas

**PENGARUH PROSES *ANNEALING* MATERIAL *POLYLACTIC ACID* (PLA)
PADA VARIASI TABUNG *HONEYCOMB* TERHADAP *CRASHWORTHINESS***

Eko Nur Saputra

Dosen Pembimbing: Dr. Ahmad Kholil, M.T. dan Dr. Eng. I Wayan Sugita, M.T.

ABSTRAK

Keselamatan kendaraan merupakan aspek krusial dalam industri otomotif, khususnya dalam upaya meminimalkan risiko cedera penumpang akibat kecelakaan lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *crashworthiness* struktur tabung *honeycomb* berbahan *Polylactic Acid* (PLA) yang dicetak menggunakan teknologi *3D Printing Fused Deposition Modeling* (FDM) serta melalui proses *annealing* pada suhu 95 °C selama 60 menit untuk meningkatkan sifat mekanik dan diharapkan dapat memperbaiki celah yang terbentuk akibat proses percetakan *3D Printing*. Pengujian dilakukan menggunakan uji tekan kuasi-statik mengacu pada ASTM C 365/C 365M-05. Parameter *crashworthiness* yang dianalisis meliputi *Energy Absorption* (EA), *Specific Energy Absorption* (SEA), *Mean Crushing Load* (MCL), *Peak Crushing Force* (PCF), dan *Crushing Force Efficiency* (CFE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi struktur *honeycomb* dan proses *annealing* berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kemampuan serap energi dan kestabilan deformasi struktur. Struktur dengan konfigurasi geometri tertentu mampu menghasilkan nilai EA, SEA, MCL dan CFE yang lebih tinggi, yang mengindikasikan perilaku deformasi yang stabil dan efisien. Temuan ini menunjukkan bahwa material *Polylactic Acid* hasil cetak 3D yang diproses melalui *annealing* memiliki potensi sebagai material alternatif ramah lingkungan untuk aplikasi struktur penyerap energi pada sistem keselamatan pasif kendaraan.

Kata Kunci: *Crashworthiness*, *Honeycomb*, *Polylactic Acid* (PLA), *Annealing*, *3D Printing*, Uji Tekan, Penyerapan Energi

**PENGARUH PROSES ANNEALING MATERIAL *POLYLACTIC ACID* (PLA)
PADA VARIASI TABUNG *HONEYCOMB* TERHADAP *CRASHWORTHINESS***

Eko Nur Saputra

Dosen Pembimbing: Dr. Ahmad Kholil, M.T. dan Dr. Eng. I Wayan Sugita, M.T.

ABSTRACT

Vehicle safety is a crucial aspect of the automotive industry, particularly in efforts to minimize the risk of passenger injury resulting from traffic accidents. This study aims to analyze the crashworthiness performance of honeycomb tube structures made of Polylactic Acid (PLA) fabricated using Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printing technology and subjected to an annealing process at 95 °C for 60 minutes to enhance mechanical properties and to reduce defects formed during the 3D printing process. The tests were conducted using quasi-static compression testing in accordance with ASTM C365/C365M–05. The crashworthiness parameters analyzed include Energy Absorption (EA), Specific Energy Absorption (SEA), Mean Crushing Load (MCL), Peak Crushing Force (PCF), and Crushing Force Efficiency (CFE). The results indicate that variations in honeycomb structure and the annealing process have a significant effect on improving energy absorption capability and deformation stability. Structures with specific geometric configurations exhibit higher EA, SEA, MCL, and CFE values, indicating stable and efficient deformation behavior. These findings demonstrate that annealed 3D-printed Polylactic Acid has strong potential as an environmentally friendly alternative material for energy-absorbing structural applications in passive vehicle safety systems.

Keywords: Crashworthiness, Honeycomb, Polylactic Acid (PLA), Annealing, 3D Printing, Pressure Test, Energy Absorption

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Identifikasi Masalah.....	3
1.3.Batasan Masalah	3
1.4.Rumusan masalah	4
1.5.Tujuan Penelitian	4
1.6.Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1.Dasar Teori.....	6
2.1.1.Manufaktur	6
2.1.2. <i>Crashworthiness</i>	6
2.1.3. <i>Polylactic Acid</i>	7
2.1.4. <i>Annealing</i>	9
2.1.5.Uji Tekan.....	9
2.1.6. <i>Initial Peak Force</i> (IPF)	10
2.1.7. <i>3D Printing</i>	12
2.2.Konsep Penelitian	13
2.3.Kerangka Berfikir	14
2.4.Penelitian Terkait	15

BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian	19
3.2. Metode Penelitian	19
3.3. Alat dan Bahan Penelitian	19
3.4. Diagram Alir Penelitian	20
3.5. Teknik Pengumpulan Data.....	21
3.5.1. Studi Literatur	21
3.5.2. Persiapan Pembuatan <i>Crashworthiness</i>	21
3.6. Teknik Analisa Data.....	28
BAB IV HASIL PENELITIAN	30
4.1. Hasil Pengujian.....	30
4.1.1. Hasil Cetak 3D <i>Printing</i>	30
4.1.2. Hasil <i>Annealing</i>	31
4.1.3. Hasil Uji Tekan	34
4.2. Analisa dan Perhitungan Hasil Penelitian.....	50
4.2.1. Perhitungan <i>Energy Absorption</i> (EA)	51
4.2.2. <i>Specific Energy Absorption</i> (SEA).....	52
4.2.3. <i>Mean Crushing Load</i> (MCL)	53
4.2.4. <i>Peak Crushing Force</i> (PCF) dan <i>Crushing Force Efficiency</i> (CFE) ..	54
4.2.5. Perbandingan Hasil Uji Tekan dan <i>Specific Energy Absorption</i> (SEA) antara Spesimen <i>Annealing</i> dan Tanpa <i>Annealing</i>	55
4.2.6. Analisis Pengaruh Proses <i>Annealing</i> Terhadap <i>Crashworthiness</i>	57
BAB V PENUTUP.....	59
5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 2. 1 Sifat material Polylactic Acid (PLA) (Isaac et al. 2023)	8
Tabel 2. 2 3D Printing Parameter (Isaac et al., 2023).....	13
Tabel 2. 3 Hasil Penelitian yang Relevan	15
Tabel 3. 1 Luas Permukaan dan Volume Spesimen	22
Tabel 3. 2 Parameter 3D Printing	24
Tabel 3. 3 Temperatur Oven Selama 60 Menit	26
Tabel 4. 1 Berat Spesimen Sebelum Annealing.....	32
Tabel 4. 2 Berat Spesimen Setelah Annealing.....	32
Tabel 4. 3 Temperatur Oven	33
Tabel 4. 4 Hasil Uji Tekan Variasi Desain 1	35
Tabel 4. 5 Hasil Uji Tekan Variasi Desain 2	38
Tabel 4. 6 Hasil Uji Tekan Variasi Desain 3	41
Tabel 4. 7 Hasil Uji Tekan Variasi Desain 4	44
Tabel 4. 8 Hasil Uji Tekan Variasi Desain 5	47

Intelligentia - Dignitas

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 2. 1 Penempatan Crash Box pada chasis mobil (Choiron et al. 2013).....	7
Gambar 2. 2 Filament PLA (Poligenis 2024)	8
Gambar 2. 3 Mesin Uji Tekan.....	10
Gambar 2. 4 Mesin 3D Printing.....	13
Gambar 2. 5 Kerangka Berfikir	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Peneliti	20
Gambar 3. 2 Filament 3D Printing	22
Gambar 3. 3 Desain honeycomb.....	22
Gambar 3. 4 Mesin 3D Printing FDM Anycubic Kobra S1	23
Gambar 3. 5 Skema Pemasangan Kabel Termokopel.....	24
Gambar 3. 6 Pemasangan Kabel Termokopel.....	25
Gambar 3. 7 Termologger.....	25
Gambar 3. 8 Proses Annealing	26
Gambar 3. 9 Pengaturan Parameter Mesin Uji Tekan	27
Gambar 3. 10 Mesin Uji Tekan Universal Testing Machine (UTM).....	28
Gambar 4. 1 Spesimen Hasil Cetak 3D Printing	30
Gambar 4. 2 Timbangan Digital	31
Gambar 4. 3 Hasil Uji Tekan Spesimen Variasi Desain 1	35
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 1 Sampel 1.....	35
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 1 Sampel 2.....	36
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 1 Sampel 3.....	36
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 1	36
Gambar 4. 8 Hasil Uji Tekan Spesimen Variasi Desain 2	37
Gambar 4. 9 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 2 Sampel 1.....	38
Gambar 4. 10 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 2 Sampel 2.....	39
Gambar 4. 11 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 2 Sampel 3.....	39

Gambar 4. 12 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 2.....	39
Gambar 4. 13 Hasil Uji Tekan Spesimen Variasi Desain 3	40
Gambar 4. 14 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 3 Sampel 1.....	41
Gambar 4. 15 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 3 Sampel 2.....	42
Gambar 4. 16 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 3 Sampel 3.....	42
Gambar 4. 17 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 3.....	42
Gambar 4. 18 Hasil Uji Tekan Spesimen Variasi Desain 4	44
Gambar 4. 19 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 4 Sampel 1.....	44
Gambar 4. 20 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 4 Sampel 2.....	45
Gambar 4. 21 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 4 Sampel 3.....	45
Gambar 4. 22 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 4.....	45
Gambar 4. 23 Hasil Uji Tekan Spesimen Variasi Desain 5	46
Gambar 4. 24 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 5 Sampel 1.....	47
Gambar 4. 25 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 5 Sampel 2.....	48
Gambar 4. 26 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 5 Sampel 3.....	48
Gambar 4. 27 Grafik Hasil Uji Tekan Desain 5.....	48
Gambar 4. 28 Grafik Hasil Perbandingan Antara 5 Desain.....	49
Gambar 4. 29 Grafik Rata-rata <i>Energy Absortion</i> (EA)	51
Gambar 4. 30 Grafik Rata-rata <i>Specific Energy Absorption</i> (SEA)	52
Gambar 4. 31 Grafik Rata-rata <i>Mean Crushing Load</i> (MCL).....	53
Gambar 4. 32 Grafik Rata-rata <i>Crushing Fprce Efficiency</i> (CFE).....	54
Gambar 4. 33 Grafik Perbandingan Rata-rata Hasil Uji Tekan	56
Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Rata-rata <i>Spesific Energy Absortion</i> (SEA) Tanpa Annealing dan Setelah Annealing	57

Intelligentia - Dignitas