

Contents list available at [Sinta](https://sinta)**A R M A T U R**

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Penerapan Simulasi *Finite Element* Terhadap Material *Polylactic Acid* Untuk Aplikasi Deker Kaki****Rizki Oktapian<sup>1</sup>, Rizki Aulia Nanda<sup>2\*</sup>, Muhamad Taufik Ulhakim<sup>3</sup>**<sup>1,2,3</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Jl.Ronggo Waluyo Sirnabaya Telukjambe Timur Karawang, 41361.**A R T I C L E  
I N F O**

**Keywords:**  
*Foot Deck, Finite Element, Polylactic Acid, 3D Printing*

**A B S T R A C T**

*The Global Burden of Disease Report predicts that traffic accidents will rise from the 9th to the 3rd leading cause of death and disability by 2030. Motorized accidents pose a risk of knee impact during falls, which is a common hazard in various activities, particularly when riding a motorcycle. In some cases, personal protective equipment such as leg pads or decks are necessary. The utilization of PLA as a material for 3D printed footwear is an intriguing innovation. This research aims to manufacture a foot plug using 3D printing to practically determine the material's mechanical properties and simulate finite elements to achieve desired results, including lightweight (flexibility), customization, rapid prototyping, and ergonomic design integration. The ASTM D638 Type I specimen and foot plug were made of Polylactic Acid + Sunlu. The tensile test resulted in an average Tensile Strength ( $\sigma_{TS}$ ) of 28.03 Mpa, Displacement ( $u$ ) of 4.98 mm, Elongation at break ( $\delta$ ) of 8.74%, and Modulus of Elasticity ( $E$ ) of 0.319 Gpa. The finite element simulation showed that the maximum stress remained below the yield strength limit, with a safety factor of 2.03 in this research foot plug*

**1. Pendahuluan**

Seiring dengan peningkatan penggunaan kendaraan bermotor, angka cedera tulang dan sendi akibat kecelakaan lalu lintas akan terus meningkat di negara berkembang. Menurut Laporan Global

Burden of Disease, kecelakaan lalu lintas akan meningkat dari peringkat ke-9 menjadi peringkat ke-3 sebagai penyebab kematian dan disabilitas pada tahun 2030. Jika tidak ada perbaikan, sekitar 6 juta pasien akan meninggal dunia, dan 60 juta lainnya akan

\*Corresponding author: [rizki.auliananda@ubpkarawang.ac.id](mailto:rizki.auliananda@ubpkarawang.ac.id)

DOI: <https://10.24127/armatur.v5i2.5533>

Received 23 maret 2024; Received in revised form 29 Juli 2024; Accepted 24 september 2024

Available online 30 september 2024

mengalami cedera berat atau cacat dalam sepuluh tahun ke depan [1]. Salah satu resiko kecelakaan bermotor diantaranya benturan pada lutut saat terjatuh merupakan bahaya yang umum terjadi selama berbagai aktivitas khususnya saat berkendara menggunakan motor. Dalam beberapa kasus, penggunaan alat pelindung diri seperti bantalan atau deker kaki, adalah suatu keharusan. Untuk mengurangi resiko cedera, bantalan harus mengurangi gaya tumbukan yang bekerja pada sistem *muskuloskeletal* [2]. Untuk melindungi cedera lutut pada saat berkendara banyak cara untuk menanggulangi resiko tersebut salah satunya menggunakan deker kaki saat berkendara [3].

Untuk memberikan perlindungan dan kenyamanan saat berkendara, pengendara motor atau pesepeda mengenakan sepatu khusus yang dikenal sebagai deker kaki. Deker kaki biasanya digunakan untuk melindungi kaki dan pergelangan kaki dari benturan, gesekan, dan gangguan lainnya. Namun, deker kaki yang baik seharusnya dibuat untuk memberikan perlindungan yang baik terhadap cedera saat melakukan kegiatan yang dapat menyebabkan lutut tergores atau terbentur. Keunggulan deker kaki termasuk ringan, tidak menghambat gerakan, tahan lama, dan ergonomis [4].

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh M. schwarze dkk 2019 [5]. Deker kaki yang terbuat dari bahan Polietilen memiliki puncak gaya tumbukan berkisar antara 1.800 N hingga 11.600 N, sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh K. Anirudh, dkk 2021 [6]. Deker kaki yang terbuat dari *Polylactic Acid* dengan ketebalan 7 mm memiliki kekuatan tegangan yang sebanding dengan bantalan lutut komersial yang tersedia seperti Polietilen, untuk digunakan dalam aplikasi bantalan pelindung yang digunakan secara komersial tetapi hanya berupa prototipe simulasi.

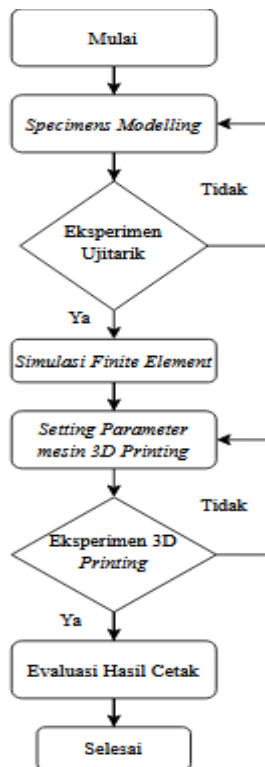
Meningkatnya kesadaran akan sifat unik polimer ini, ditambah dengan pengetahuan tentang bagaimana sifat ini dapat dimanipulasi untuk mencapai

kompatibilitas dengan pemrosesan termoplastik, manufaktur, dan persyaratan penggunaan akhir, telah membuat minat teknis dan komersial PLA terhadap produk tersebut terstimulasi [7]. Maka penggunaan PLA sebagai bahan untuk membuat deker kaki menggunakan teknologi 3D printing adalah inovasi yang menarik [8]. Secara umum, bioplastik PLA ini memiliki sifat tahan panas dan elastisitas yang baik [9].

Tujuan dari penelitian ini yaitu pembuatan deker kaki menggunakan 3D printing untuk mengetahui sifat mekanis material secara praktis dan simulasi agar mendapatkan hasil yang diinginkan diantaranya ringan (fleksibel), *customization*, pembuatan prototipe cepat, dan integrasi desain ergonomis.

## 2. Metode Penelitian

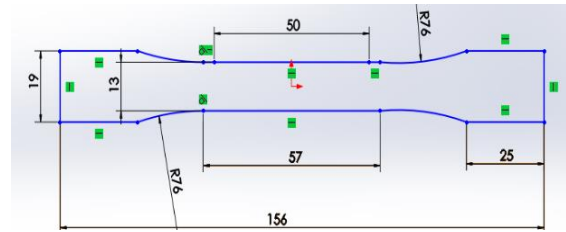
Penelitian ini melakukan perancangan deker kaki menggunakan *finite element* dan eksperimen. Material yang digunakan pada perancangan deker kaki ini adalah *PLA+ Sunlu*. Penelitian diawali dengan eksperimen uji tarik menggunakan spesimen PLA yang mengacu pada *American Standard Testing and Material* (ASTM) D638 untuk mengetahui sifat mekanis dari material PLA, kemudian dilakukan simulasi *Finite Element* untuk menetapkan beban dan kondisi batas berupa gaya tumbukan, kecepatan atau energi kinetik yang diterapkan pada desain deker kaki dan selanjutnya dengan eksperimen 3D *Printing* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram penelitian

## 2.1 Specimens Modelling

Spesimen yang diambil dirancang berdasarkan standar ASTM D638 *Type I* untuk melihat bagaimana pola pengisi berdampak pada sifat tarik bagian cetakan 3D [10]. Ditunjukkan pada Gambar 1 nilai panjang pengukur  $L_0$ , lebar bagian sempit  $W$ , dan ketebalan  $T$  adalah 3,6 mm, model 3D kemudian diekspor dalam format file *Stereolithography* (STL), yang kemudian diproses lebih lanjut dengan perangkat lunak *slicing* untuk mengimplementasikan berbagai pola pengisian kepadatan rendah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Setelah itu, file *G-code* untuk setiap model 3D dengan pola pengisian tertentu dihasilkan oleh perangkat lunak pengiris. File kode-G, yang menerjemahkan desain 3D ke dalam koordinat posisi, kemudian digunakan dalam printer *Creativity Ender 3-pro* untuk membuat spesimen lapis demi lapis [11].



Gambar 2. CAD Specimen ASTM D638 *Type I*

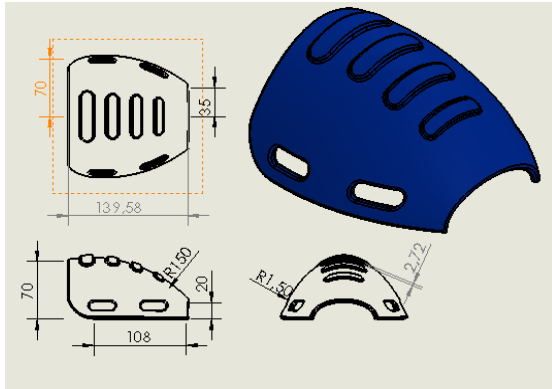
Untuk uji tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM D638 menggunakan mesin uji tarik *Shimadzu AGS-X* berkekuatan 10 kN dengan kecepatan langkah 5 mm/menit. Kalibrasi mesin dilakukan sebelum pengujian tarik. Karena mesin *Shimadzu* terhubung langsung ke komputer, semua pengukuran disinkronkan dan dicatat secara otomatis. Beban yang diterapkan  $F$ ,  $L_0$  sebagai Panjang awal ukuran spesimen dan panjang resultan  $L$  untuk semua benda uji yang diperoleh dari pengujian digunakan dalam menentukan nilai tegangan tarik  $\sigma$  dan regangan  $\epsilon$ , yang diberikan oleh Pers. 1, dan Pers. 2 [12]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

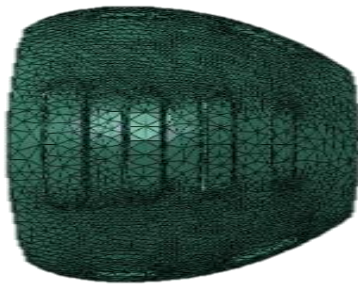
## 2.2 Finite Element Simulation

Penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu desain digital menggunakan *Solidworks* dan *Finite Element* menggunakan *Abaqus CAE*. Untuk tahap pemodelan desain digital, desain dibuat dengan ketebalan material 7,72 mm. Desain dengan nilai ketebalan tersebut diperoleh dari nilai optimum material PLA untuk aplikasi deker kaki [6]. Adapun dalam penelitian ini ketebalan deker kaki yang dibuat adalah 5,0 mm dengan tambahan ketebalan bagian depan sekitar 2,72 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Design Solidworks deker lutut




Selanjutnya, *finite element* dilakukan dengan memasukan (*input*) berupa *mechanical properties* dari material *PLA*, sedangkan untuk tahap kedua dilakukan penyusunan jaringan elemen setelah model geometri dibuat. Sifat material *PLA* diaplikasikan ke seluruh model geometri (deker kaki) dan geometri dibagi menjadi elemen-elemen untuk melakukan perhitungan elemen hingga. Semakin halus jaringan elemen yang dibuat, maka semakin akurat hasil yang didapatkan dalam analisis tersebut yang ditunjukkan pada Gambar 4. Kemudian untuk penentuan beban diperoleh dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh M. Schwarze, dkk [5], dengan beban bentur berkisar 0,735 kN, dan K. Anirudh, dkk [6], dengan beban bentur berkisar 1 kN hingga 7 kN. Berdasarkan hal tersebut dalam penelitian ini, beban bentur di variasikan antara 1 kN hingga 8 kN.



Gambar 4. Penyusunan jaringan elemen

Dalam pemodelan ini, dilakukan dengan membagi material menjadi beberapa titik pengamatan dalam bentuk node. Persamaan yang digunakan pada setiap kondisi node adalah ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Node pengamatan *finite element*

Pengamatan	Node	Pers.
Regangan [13]		$\epsilon = \frac{\delta L}{L}$ (3)
Tegangan [14]		$\sigma = \frac{F}{A}$ (4)
Perpindahan [15]		$u = \frac{\delta x}{L}$ (5)

Adapun untuk *safety factor* pada simulasi *finite element* dengan menghitung perbandingan antara kekuatan sebenarnya dan kekuatan yang diperlukan [16]. Dimana *Sf* adalah faktor keamanan,  $\sigma$  bahan adalah kekuatan bahan dan  $\sigma_{max}$  adalah kekuatan yang dibutuhkan, maka digunakan persamaan 6 sebagai berikut:

$$Sf(n) = \frac{\sigma_{bahan}}{\sigma_{max}} \quad (6)$$

Untuk luaran dari simulasi *finite element* yang dilakukan berupa gaya-gaya yang bekerja pada objek deker kaki seperti tegangan, regangan, perpindahan dan untuk *safety factor* dimana  $n = 1,25$  hingga 2,0 untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.

### 2.3 Experimental 3D Printing

Pada tahap ini hasil dari pengolahan data yang telah ditentukan sesuai hasil yang diharapkan mulai diproses melalui *3D Printing* yaitu, pembuatan benda tiga dimensi yang disusun berlapis-lapis dari bahan filamen *Polylactic acid+ sunlu (PLA)*. Tahapan eksperimen 3D printing diantaranya (*Preparation*) yang dilakukan setelah desain geometri selesai, file kemudian disiapkan dalam format *Stereolithography (STL)* untuk di proses ke mesin *3D Printing*. Kemudian, model cetak

3D dibagi menjadi beberapa lapisan tipis proses ini disebut *3D Slicing*, dan kode mesin yang dibuat untuk menginstruksikan cara membuat barang dengan cetak 3D. Sebelum mesin dijalankan diperlukan setting parameter mesin. Adapun dalam penelitian ini spesifikasi PLA+ *Sunlu Filament Technical Specifications* dan setting parameter mesin yang digunakan pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut:

Tabel 2 *Filament Technical Specifications* [17]

Spesifikasi PLA+	Nilai/keterangan
<i>Polymer Additives</i>	<i>Polyester + High Strength</i>
<i>Filament Diameter</i>	1,75 mm
<i>Density</i>	1,26 (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Melt Flow Index</i>	7 – 10 (g/10min) / (190°C/2,16kg)
<i>Tensile Strength</i>	6 – 11 (KGF)
<i>Elongation at Break</i>	4,5 %

Tabel 3 Parameter Setting Mesin 3D Printing [17]

Parameter Setting	Nilai/keterangan
<i>Nozzle Temperature</i>	205 °C - 215 °C
<i>Nozzle Material</i>	<i>Brass / Any</i>
<i>Nozzle Size</i>	Standard : 0,4 mm
<i>Bed Temperature</i>	50 °C - 65 °C
<i>Printing Speed</i>	50 mm/s – 100 mm/s
<i>Part Cooling fan</i>	55.2 On 100 % from Layer 2+

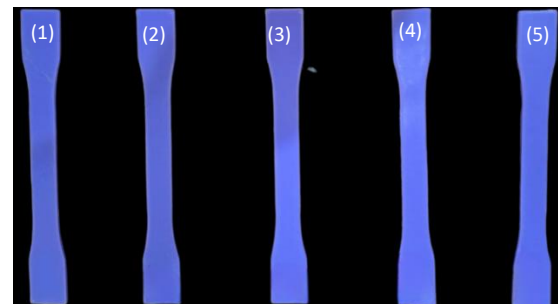
Kemudian setelah file digital disiapkan, *printer* 3D menginterpretasikan kode dan membuat objek dengan menambahkan materi pada setiap lapisan. Setelah itu masuk ke tahap Pasca pemrosesan, setelah selesai dicetak, deker

kaki kemudian dilakukan pembersihan dari sisa-sisa proses percetakan dan didinginkan beberapa saat, kemudian dianalisis hasil cetak.

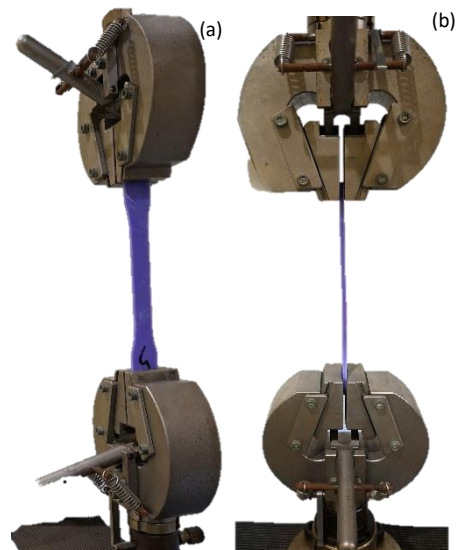
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Uji Tarik Spesimen

Spesimen yang telah dicetak menggunakan mesin 3D *Printer* diuji kekuatannya menggunakan alat uji tarik *Shimadzu* AGS-X 10 kN. Adapun spesimen hasil uji tarik dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 sedangkan hasil uji tarik dari spesimen dapat dilihat pada tabel 4.



Gambar 5. Spesimen Uji 5 sampel



Gambar 6. (a) Pandangan samping proses uji tarik, dan (b) Pandangan depan proses uji tarik

Tabel 4 Hasil Uji Tarik Spesimen D638 Type I

No	F (N)	$\sigma$ TS (Mpa)	u (mm)	$\delta$ (%)	E (Gpa)
1	1262	28,55	4,75	8,34	0,342

2	1313	29,72	5,22	9,16	0,319
3	1171	26,50	4,82	8,46	0,313
4	1261	28,53	5,06	8,88	0,321
5	1186	26,84	5,07	8,90	0,301
≈	1239	28,03	4,98	8,74	0,319

Berdasarkan hasil uji tarik yang telah dilakukan sebanyak 5 sampel, diketahui nilai rata-rata untuk *Tensile Strength* ( $\sigma$  TS) 28,03 Mpa, *Displacement* (u) 4,98 mm, Pemanjangan pada patahan ( $\delta$ ) 8,74 %, dan Modulus Elastisitas (*E*) 0,319 Gpa. Dimana hasil dari uji tarik spesimen D638 *Type I* ini bertujuan untuk menjadi input parameter sifat mekanis pada simulasi *Finite Element* untuk deker kaki.

### 3.2 Hasil *Finite Element Simulation*

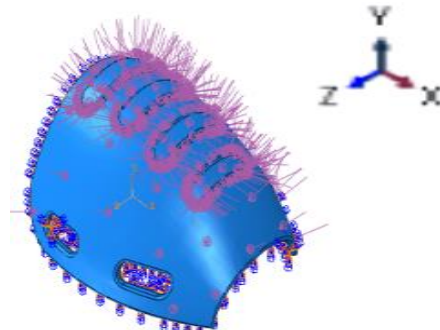
Spesifikasi sifat mekanis dapat dilihat pada Tabel 5. Dimana penentuan sifat material ditentukan dari hasil uji tarik spesimen D638 *Type I*.

Tabel 5 Parameter sifat mekanis *Finite Element*

Name	Polylactid Acid+ Sunlu	
General	Mass Density	1,26 g/cm <sup>3</sup>
	Young's Modulus	0,319 GPa
Stress	Poisson's Ratio PLA+	0,35
	Yield Stress	28,03 MPa
Part name	Deker kaki	

Pada *Abaqus CAE* dimasukkan data-data sifat mekanis sesuai dengan kondisi yang mendekati sebenarnya sehingga dapat dilakukan analisis statis pada struktur tersebut. Simulasi dilakukan untuk melihat hasil *Stress mises*, *Le Max. Principal*

(*Strain*), *Displacement*, dan *Safety Factor* ditunjukkan pada Gambar 7 sebagai titik beban (*load*). Pengujian dilakukan menggunakan variasi beban 1 kN hingga 8 kN. Hasil simulasi ditunjukkan oleh Tabel 6.



Gambar 7. *Load point*

Tabel 6 Hasil Simulasi *Finite Element*

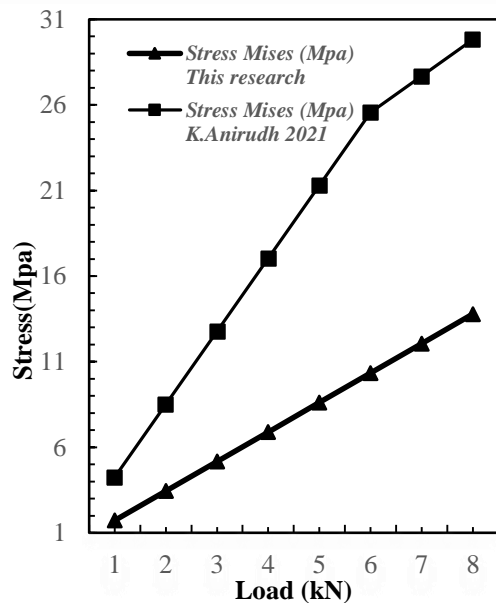
Load (kN)	Stress mises (Mpa)	Strain (Mpa)	Displacement (mm)
1	1,723	0,00541	0,02197
2	3,446	0,01082	0,04393
3	5,169	0,01623	0,06590
4	6,892	0,02165	0,08787
5	8,614	0,02706	0,10980
6	10,34	0,03247	0,13180
7	12,06	0,03788	0,15380
8	13,78	0,04329	0,17570

Dari analisis Tabel 5 tersebut dapat diketahui bahwa hasil simulasi *finite element* pada deker kaki mengalami tegangan maksimum sebesar 13,78 Mpa, regangan maksimum 0,04329 Mpa, perpindahan maksimum 0,17570 mm, dan *safety factor* pada load maksimum 8 kN sebesar 2,03.

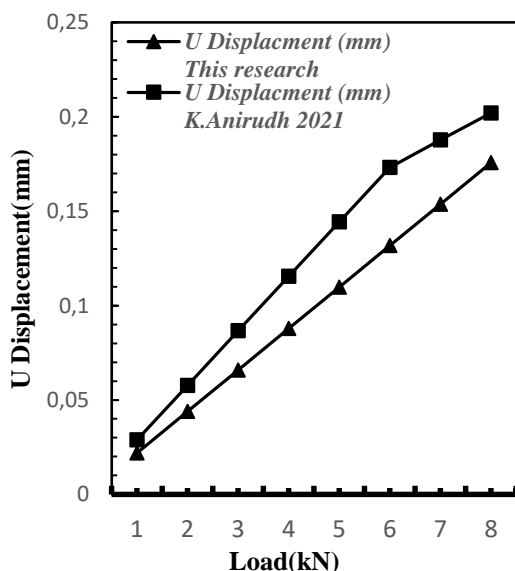
$$Sf(n) = \frac{\sigma_{bahan}}{\sigma_{max}}$$

$$Sf(n) = \frac{28,03 \text{ Mpa}}{13,78 \text{ Mpa}} \approx 2,03$$

Dari hasil simulasi pada penelitian ini dapat dihasilkan analisis data tegangan maksimum, dan perpindahan maksimum sebagai perbandingan dengan penelitian simulasi yang telah dilakukan oleh K.Anirudh 2021 pada deker kaki yang dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9:



Gambar 8. Perbandingan Stress



Gambar 9. Perbandingan Displacement

Pada perbandingan antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian K.Anirudh 2021, diketahui bahwa hasil

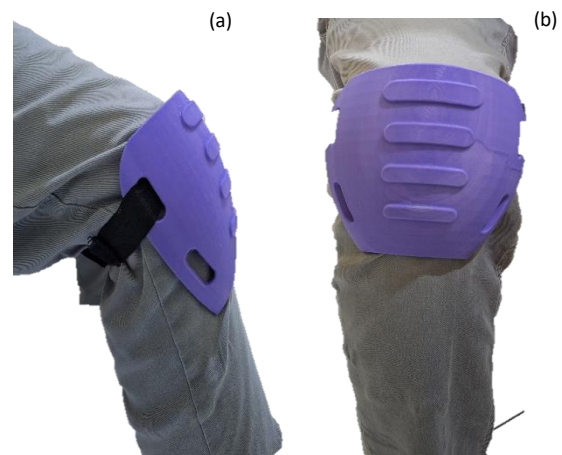
deker kaki pada penelitian ini memiliki nilai tegangan, perpindahan yang minimum, dimana hasil dari sifat mekanis yang di input kedalam simulasi *finite element* menggunakan spesimen ASTM D638 Type I yang telah di uji tarik oleh peneliti dan dari ketebalan material yang diatur hingga perbedaan desain deker kaki maka nilai tegangan dan *displacement* menunjukkan hasil minimum.

### 3.3 Hasil 3D Printing Deker Kaki

Berdasarkan hasil cetak 3D Printing parameter yang optimal ditunjukkan pada Tabel 7 kemudian menunjukkan hasil bahwa deker kaki sesuai dengan desain geometri, kualitas permukaan dan kesesuaian secara fungsional pada Gambar 10.

Tabel 7. Parameter hasil *printing* optimal

Parameter Setting	Nilai/Keterangan
Nozzle Temperature	210 °C
Nozzle Size	0,4 mm
Bed Temperature	60 °C
Printing Speed	100 %
Part Cooling fan	On 100 % from 2 Layer 2+



Gambar 10. (a) Pandangan Samping penggunaan deker dan (b) Pandangan Depan Penggunaan deker

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini melakukan perancangan deker kaki menggunakan perangkat lunak *Solidworks*, untuk melakukan analisis pada deker kaki menggunakan *Abaqus CAE*. Material yang digunakan pada spesimen ASTM D638 Type I dan deker kaki adalah *Polylactic Acid+ Sunlu*. Pada pengujian tarik memperoleh nilai rata-rata untuk *Tensile Strength* ( $\sigma$  TS) 28,03 Mpa, *Displacement* ( $u$ ) 4,98 mm, Pemanjangan pada patahan ( $\delta$ ) 8,74 %, dan Modulus Elastisitas ( $E$ ) 0,319 Gpa. Dimana hasil dari uji tarik spesimen D638 Type I ini bertujuan untuk menjadi input parameter sifat mekanis pada simulasi *Finite Element* untuk deker kaki.

Dari hasil simulasi *finite element* menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi masih berada dibawah batas dari *yield strength*, dimana nilai *safety factor* pada penelitian ini sebesar 2,03 menunjukkan bahwa nilai *safety factor* yang lebih tinggi, berarti struktur tersebut memiliki kelebihan kekuatan atau ketahanan daripada yang diperlukan untuk menanggung beban atau tekanan yang diperkirakan, dimana deker tersebut layak digunakan.

#### 5. Saran

Simulasi *finite element* menunjukkan bahwa desain memiliki kelebihan kekuatan dilihat dari nilai *safety factor* yang didapat, tetapi melakukan pengujian fisik pada prototipe deker kaki akan membantu memastikan bahwa desain memenuhi semua persyaratan performa yang diinginkan seperti yang dilakukan oleh M. Schwarze dkk menggunakan mesin MTS MiniBionix II, Model 858 atau dengan mesin sejenisnya untuk dilakukan pengujian benturan.

#### Ucapan terimakasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Civitas akademik Laboratorium Mekatronika, dan Laboratorium Manufaktur Universitas Buana Perjuangan Karawang

yang telah menyediakan tempat untuk penelitian.

#### Referensi

- [1] I. H. Dilogo, "Mewujudkan Terobosan dan Kemandirian Reparasi , Restorasi , Regenerasi ,," *eJKI*, vol. 7, no. 1, 2019, doi: 10.23886/ejki.7.10775.Pendahuluan.
- [2] R. G. Steinmetz *et al.*, "Prevalence of ligamentous knee injuries in pedestrian versus motor vehicle accidents," *BMC Musculoskelet. Disord.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–8, 2020, doi: 10.1186/s12891-020-03397-w.
- [3] Y. Song *et al.*, "Mesenchymal stem cells in knee osteoarthritis treatment: A systematic review and meta-analysis," *J. Orthop. Transl.*, vol. 24, no. November 2019, pp. 121–130, 2020, doi: 10.1016/j.jot.2020.03.015.
- [4] A. Zdravkova, I. Mircheski, and S. Sidorenko, "Bio-Inspired Approach for Innovative Design of Knee Protectors for Recreational Sports," *FME Trans.*, vol. 48, no. 4, pp. 849–854, 2020, doi: 10.5937/fme2004849Z.
- [5] M. Schwarze, C. Hurschler, and B. Welke, "Force, impulse and energy during falling with and without knee protection: an in-vitro study," *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-46880-8.
- [6] K. Anirudh and S. N. Yeole, "Development of a 3D printed knee protective pad prototype," *Mater. Today Proc.*, vol. 44, pp. 2442–2446, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.488.
- [7] J. Lunt, "Large-scale production, properties and commercial applications of poly lactic acid polymers," *Polym. Degrad. Stab.*,

- vol. 59, no. 1–3, pp. 145–152, 1998, doi: 10.1016/s0141-3910(97)00148-1.
- [8] Z. S. Suzen, Hasdiansah, and Yuliyanto, “Pengaruh Tipe Infill Dan Temperatur Nozzle Terhadap Kekuatan Tarik Produk 3D Printing Filamen Pla+ Esun,” *J. Teknol. Manufaktur*, vol. 12, no. 02, 2020.
- [9] A. S. F. Alqap, H. Hestiawan, and A. Suandi, “Kaji Sifat Fisik Biokomposit Polylactic Acid Berpenguat Serbuk Cangkang Kerang Lokan,” vol. 12, no. 02, pp. 290–296, 2023.
- [10] American Society for Testing and Materials, “ASTM D638-14, Standard practice for preparation of metallographic specimens,” *ASTM Int.*, vol. 82, no. C, pp. 1–15, 2016, doi: 10.1520/D0638-14.1.
- [11] M. N. F. Saniman, M. H. M. Hashim, K. A. Mohammad, K. A. A. Wahid, W. M. W. Muhamad, and N. H. N. Mohamed, “Tensile Characteristics of Low Density Infill Patterns for Mass Reduction of 3D Printed Polylactic Parts,” vol. 17, no. 2, pp. 7927–7934, 2020.
- [12] J. W. Gooch, *Encyclopedic dictionary of polymers*, vol. 1. Springer Science & Business Media, 2010.
- [13] Z. Abidin, Rama, and B. Ridho, “Analisa Distribusi Tegangan Dan Defleksi Connecting Rod Sepeda Motor 100 Cc Menggunakan Metode Elemen,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 1, pp. 30–39, 2015.
- [14] R. Nur Arini and R. Pradana, “Analisa Tegangan Regangan Pada Balok Dengan Menggunakan Software Abaqus Cae V6.14,” *J. ARTESIS*, vol. 1, no. 2, pp. 193–198, 2021, doi: 10.35814/artesis.v1i2.3227.
- [15] V. Naubnome, “Analisis Uji Tarik Dan Simulasi Kegagalan Pada Baja Ss400 Dengan Variasi Ketebalan Lapisan Karbon Fiber Untuk Aplikasi Kerangka Mobil Listrik,” *Gorontalo J. Infrastruct. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 28, 2020, doi: 10.32662/gojise.v3i1.840.
- [16] A. Diinil Mustaqiem, “Analisis Perbandingan Faktor Keamanan Rangka Scooter Menggunakan Perangkat Lunak Solidwork 2015,” *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 3, p. 164, 2020, doi: 10.22441/jtm.v9i3.9567.
- [17] DIY Electronics, “Sunlu Pla+ Filament Specifications.” <https://www.diyelectronics.co.za/store/pla/4669-sunlu-pla-filament-175mm-grey-1kg.html>