

PENGUJIAN TARIK *PHOTOPOLYMER* SEBAGAI MATERIAL UTAMA TANGAN BIONIK UNIVERSITAS DIPONEGORO

*Makhfudz Ali¹, Rifky Ismail², Toni Prahasto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: makhfudzali5@gmail.com

ABSTRAK

Tangan Bionik Universitas Diponegoro termasuk kedalam jenis tangan prostetik aktif yang menggunakan sumber listrik berupa baterai. Aspek desain prioritas yang diperlukan pengguna tangan bionik yaitu kehandalan, yang berarti tangan bionik mampu mengangkat beban yang besar. Kemampuan tersebut tentunya harus diimbangi dengan kekuatan material yang mumpuni. Diperlukan evaluasi terhadap kekuatan material yang digunakan dalam tangan bionik tersebut sehingga diketahui nilainya secara akurat. Terdapat dua material utama dalam struktur tangan bionik Universitas Diponegoro yaitu *photopolymer* dan AISI 304. Material *photopolymer* memiliki kekuatan mekanik yang terlampaui jauh dengan material AISI 304. Untuk itu fokus penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kekuatan mekanik material *photopolymer* dengan pengujian tarik. Standar pengujian tarik untuk material ini adalah ASTM D638 yang mengatur spesimen uji dan kecepatan pengujian. *Photopolymer* yang digunakan memiliki kekuatan 46-67 MPa berdasarkan lembar data perusahaan produsen. Proses produksi menggunakan mesin pencetak 3 dimensi berjenis *stereolithography (SLA)*. Perlakuan panas setelah pencetakan menggunakan sinar matahari dengan waktu paparan selama 4 jam. Hasil pengujian tarik material *photopolymer* dengan standar ASTM D638 mendapatkan hasil rata-rata tegangan maksimal sebesar 56,84 MPa dengan regangan sebesar 3,52%. Regangan kurang dari 5% menunjukkan material berjenis getas. Tegangan maksimal yang diperoleh nilainya belum maksimal sehingga perlu dilakukan pengamatan lebih lanjut terkait dengan waktu pemanasan untuk perlakuan panas setelah pencetakan.

Kata kunci: *photopolymer*; tangan bionik undip; uji tarik material

ABSTRACT

The Diponegoro University Bionic Hand is included in the type of active prosthetic hand that uses an electric source in the form of a battery. The priority design aspect required by the user of the bionic hand is reliability, which means that the bionic hand can lift large loads. This capability must of course be balanced with the strength of a qualified material. It is necessary to evaluate the strength of the material used in the bionic hand so that its value is known accurately. There are two main materials in the bionic arm structure of Diponegoro University, namely photopolymer and AISI 304. Photopolymer material has a mechanical strength that is too far from AISI 304 material. Therefore, the focus of this research is to evaluate the mechanical strength of photopolymer material by tensile testing. The tensile test standard for this material is ASTM D638 which governs the test specimen and test speed. The photopolymer used has a strength of 46-67 MPa based on the manufacturer's data sheet. The production process uses a stereolithography (SLA) 3-dimensional printing machine. Heat treatment after printing using sunlight with an exposure time of 4 hours. The results of the tensile test of the photopolymer material with the ASTM D638 standard get average tensile strength of 56.84 MPa with a strain of 3.52%. A strain of less than 5% indicates a brittle material. The tensile strength value obtained has not been maximized so further observations need to be made regarding the heating time for heat treatment after printing.

Keywords: *material tensile test; photopolymer; undip bionic hand*

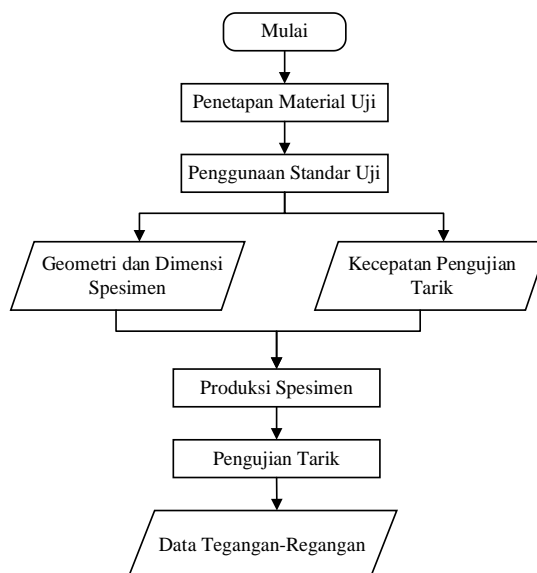
1. Pendahuluan

Penyandang disabilitas tertinggi di Indonesia merupakan penduduk dewasa usia produktif dengan rentang 18-59 tahun. Penyandang disabilitas secara keseluruhan sekitar 22,5 juta atau 5% jumlah penduduk Indonesia dengan penyandang tuna daksa sebanyak 1,8 juta [1]. Tuna daksa bagian bawah siku (*transradial*) dapat direhabilitas dengan menggunakan alat bantu gerak (*prosthesis*) sehingga fungsi tubuh khususnya bagian tangan dapat kembali berfungsi secara normal [2]. Tangan prostetik dibedakan menjadi dua jenis yaitu pasif dan aktif. Tangan prostetik pasif hanya menekankan pada aspek estetika bukan pada aspek fungsionalitas [3]. Tangan Bionik Universitas Diponegoro termasuk dalam jenis tangan prostetik aktif yang menggunakan sumber listrik berupa baterai [4]. Salah satu aspek desain yang diperlukan pengguna tangan bionik adalah kehandalan, berarti tangan bionik mampu digunakan untuk mengangkat beban yang besar [5]. Kemampuan tersebut tentunya harus diimbangi dengan kekuatan material yang mumpuni. Untuk itu diperlukan evaluasi terhadap kekuatan material yang digunakan dalam tangan bionik tersebut sehingga diketahui nilainya secara akurat. Terdapat dua material utama dalam struktur tangan bionik Universitas Diponegoro yaitu *photopolymer* dan AISI 304.

Kekuatan mekanik material *photopolymer* jauh lebih rendah dibandingkan material AISI 304. Material *photopolymer* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kekuatan mekanik maksimal berkisar antara 46-67 MPa [6]. Disisi lain, material AISI 304 memiliki kekuatan mekanik maksimal yang berkisar antara 550-1035 MPa bergantung pada perlakuan panas yang diberikan [7]. Untuk itu, evaluasi material berupa pengujian tarik pada penelitian ini akan berfokus pada material *photopolymer* melihat kekuatan mekaniknya yang terlampaui jauh dengan material AISI 304. Selain itu, pengujian tarik ini juga digunakan untuk mengetahui apakah parameter pencetakan dan pemanasan yang dilakukan sudah optimal dengan membandingkan kekuatan mekanik material hasil pengujian tarik dengan lembar data perusahaan produsen. Pencetakan material *photopolymer* menggunakan mesin pencetak 3 dimensi berjenis *stereolithography (SLA)* dengan perlakuan pemanasan setelah pencetakan menggunakan cahaya matahari selama 4 jam. Material *photopolymer* dicetak dengan dimensi dan geometri sesuai dengan standar pengujian yang berlaku. Pengujian tarik material *photopolymer* menggunakan standar ASTM D638 dengan parameter kecepatan pengujian sebesar 1 mm/menit. Luaran dari pengujian ini adalah untuk mengetahui tegangan dan regangan maksimal untuk material *photopolymer* yang digunakan pada tangan bionik Universitas Diponegoro.

2. Metode Penelitian

2.1. Diagram Alir Penelitian



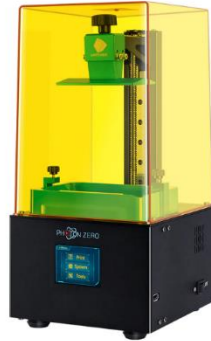
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dimulai dengan menentukan material yang akan diuji dalam hal ini adalah *photopolymer*. Pengujian tarik *photopolymer* menggunakan standar ASTM D638 yang dikeluarkan ASTM (American Standard Testing Machine) International [8]. Standar tersebut mengatur terkait geometri dan dimensi yang digunakan pada pengujian tarik material sesuai dengan karakteristik material yang akan diuji. Setelah ditentukan geometri dan dimensi untuk spesimen uji tarik *photopolymer*, maka dilanjutkan dengan proses produksi material. Proses produksi material *photopolymer* menggunakan mesin pencetak 3 dimensi berjenis *stereolithography (SLA)* dan diberikan perlakuan pemanasan setelah pencetakan. Hasil

pencetakan kemudian dilakukan pengujian tarik dengan parameter kecepatan uji sebesar 1 mm/menit. Luaran dari pengujian ini berupa data tegangan-regangan material *photopolymer*.

2.2. SLA 3D Printer

Pencetakan 3 dimensi adalah proses produksi yang digunakan untuk membuat benda 3 dimensi dengan proses pembentukan lapisan demi lapisan sampai seluruh objek terbentuk [9]. Berdasarkan teknik pencetakannya, pencetakan 3 dimensi dibedakan menjadi *Fused Deposition Modeling (FDM)*, *Selective Lase Sintering (SLS)*, *Digital Light Processing (DLP)*, dan *Stereolithography (SLA)* [10]. Proses produksi menggunakan Teknik pencetakan 3 dimensi memiliki keunggulan pada segi waktu dan akurasi hasil.



Gambar 2. Mesin Pencetak 3D SLA

Teknik pencetakan 3 dimensi menggunakan *stereolithography (SLA)* memiliki kapabilitas teknologi tertinggi dari segi hasil pencetakan sehingga mampu menghasilkan geometri yang kompleks tetapi tetap memiliki tingkat akurasi yang tinggi [11]. Teknik pencetakan ini menggunakan material awal berupa cairan *photopolymer*, untuk mengubah material dari fase cair menjadi padat digunakan paparan sinar ultraviolet sehingga akan terjadi reaksi kimia yang memicu perubahan fase tersebut.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Mesin Pencetak 3D SLA

| No. | Spesifikasi | Keterangan |
|-----|--------------------------|----------------|
| 1. | Daya | 30 Watt |
| 2. | Dimensi Total | 180×195×367 mm |
| 3. | Dimensi Pencetakan | 97×54×150 mm |
| 4. | Sumber Cahaya Pencetakan | UV-LED |
| 5. | Panjang Gelombang Cahaya | 405 nm |
| 6. | Akurasi Sumbu Z | 0,01 mm |
| 7. | Akurasi Sumbu XY | 0,1155 mm |
| 8. | Kecepatan Pencetakan | 20 mm/jam |

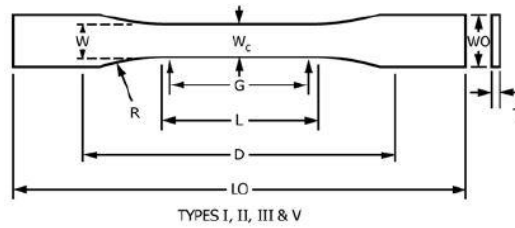
2.3. Spesimen Uji Tarik

Uji tarik *photopolymer* menggunakan ASTM D638, dalam pengujian tersebut diatur terkait dengan spesimen uji tarik dan kecepatan pengujian. Spesimen uji tarik yang dibuat harus sesuai dengan dimensi dan geometri yang terdapat pada standar untuk memastikan hasil pengujian memiliki validitas yang baik. Melihat dari jenis material dan kemampuan pencetakan 3 dimensi maka tipe spesimen yang sesuai yaitu spesimen tipe V.

Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik [8]

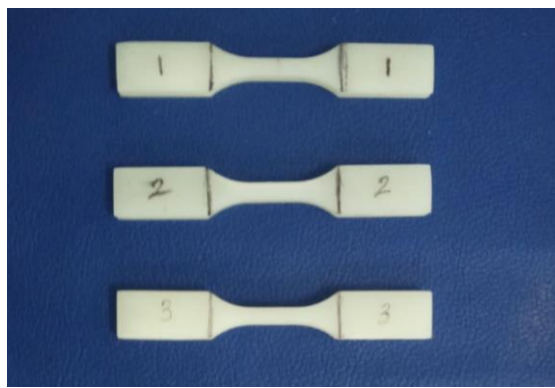
| No. | Parameter | Dimensi (mm) |
|-----|-------------------------------------|--------------|
| 1. | <i>T</i> – Thickness | 4 |
| 2. | <i>W</i> – Width of narrow section | 3,18 |
| 3. | <i>L</i> – Length of narrow section | 9,53 |
| 4. | <i>WO</i> – Width overall, min | 9,53 |
| 5. | <i>LO</i> – Length overall, min | 63,5 |
| 6. | <i>G</i> – Gage length | 7,62 |
| 7. | <i>D</i> – Distance between grips | 25,4 |
| 8. | <i>R</i> – Radius of fillet | 12,7 |

Perbedaan tipe spesimen yang digunakan menyebabkan perbedaan geometri yang digunakan. Terdapat dua jenis geometri yang dapat digunakan untuk pengujian tarik material *photopolymer*. Tipe spesimen IV memiliki perbedaan geometri signifikan dengan tipe spesimen I, II, III, dan V.



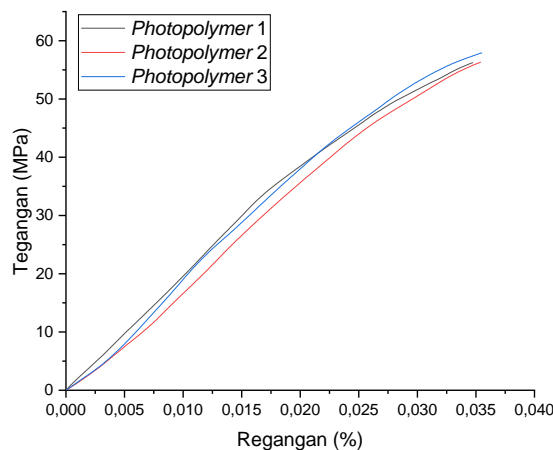
Gambar 3. Geometri Spesimen Uji Tarik *Photopolymer* [8]

Setelah dimensi dan geometri spesimen uji ditentukan, maka perlu didefinisikan pula besaran kecepatan yang akan digunakan dalam proses pengujian tarik material polimer. Nilai kecepatan pengujian ditentukan berdasarkan tingkat kekakuan material dan tipe dimensi serta geometri yang digunakan pada proses pendefinisian spesimen uji. Kecepatan yang dipilih tentunya akan berpengaruh terhadap hasil pengujian dan menentukan validitas pengujian yang telah dilakukan. Kecepatan pengujian yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 1 mm/menit mengingat kekuatan material tidak terlalu besar.



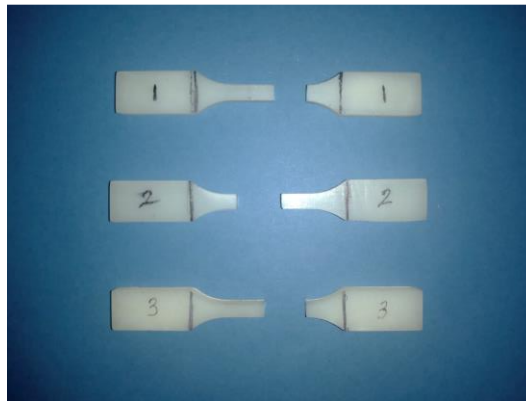
Gambar 4. Spesimen Uji Tarik *Photopolymer*

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 5. Hasil Uji Tarik *Photopolymer*

Pengujian tarik material *photopolymer* menunjukkan rata-rata nilai *ultimate tensile strength* yang didapatkan sebesar 56,84 MPa dengan regangan sebesar 3,52%. Hasil yang didapatkan untuk masing-masing spesimen uji memiliki nilai yang berdekatan dengan lainnya. Untuk spesimen *photopolymer* 1 didapatkan nilai *ultimate tensile strength* sebesar 56,25 MPa dengan regangan sebesar 3,47%. Hasil spesimen *photopolymer* 2 diperoleh nilai yang hamper sama dengan spesimen *photopolymer* 1 yaitu tegangan maksimal sebesar 56,33 MPa dengan regangan maksimal sebesar 3,54%. Nilai *ultimate tensile strength* tertinggi didapatkan dari spesimen *photopolymer* 3 dengan nilai tegangan maksimal sebesar 57,94 MPa dengan regangan maksimal sebesar 3,55%.



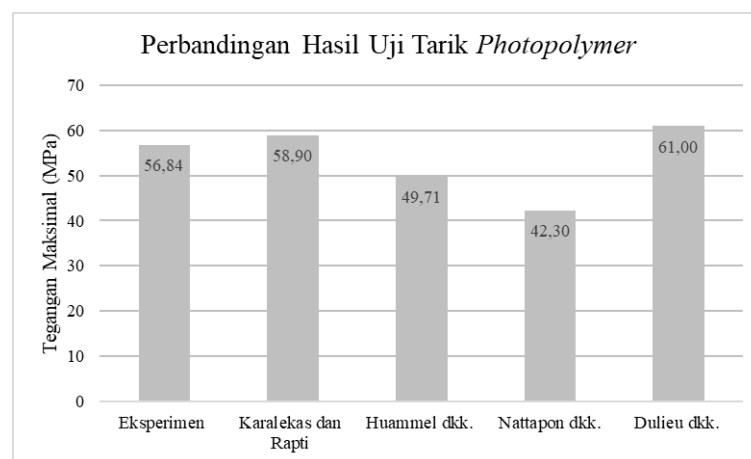
Gambar 6. Patahan Hasil Uji Tarik *Photopolymer*

Besar rata-rata regangan yang didapatkan sebesar 3,52%, nilai ini menunjukkan material memiliki sifat getas. Hal ini karena material getas memiliki nilai regangan maksimal sebesar kurang dari 5% [12]. Sifat getas berarti material mengalami regangan yang kecil sehingga deformasi plastis yang terjadi pada material tidak besar jika dibandingkan dengan material ulet. Hal tersebut tercermin dari patahan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian. Apabila diperhatikan lebih detail, patahan yang terjadi pada spesimen hasil uji memiliki permukaan yang halus. Permukaan tersebut dapat terbentuk hanya pada material getas karena area pada deformasi plastis yang relatif sedikit.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Uji Tarik Material *Photopolymer*

| No. | Hasil Uji Tarik | Tegangan (MPa) | Regangan (%) |
|-----|--------------------------|----------------|--------------|
| 1. | Eksperimen | 56,84 | 3,52 |
| 2. | Karalekas dan Rapti [13] | 58,90 | 3,80 |
| 3. | Huammel dkk. [14] | 49,71 | 5,39 |
| 4. | Nattapon dkk. [15] | 42,30 | 3,63 |
| 5. | Dulieu dkk. [16] | 61,00 | 3,00 |

Ultimate tensile strength yang didapatkan dari hasil pengujian tarik memiliki rata-rata nilai sebesar 56,84 MPa. Nilai pada lembar data yang diberikan perusahaan produsen *photopolymer* memberikan rentang sebesar 46-67 MPa. Besar tegangan hasil eksperimen memiliki nilai rentang yang terdapat pada lembar data yang diberikan perusahaan produsen. Hal ini menunjukkan bahwa metode pencetakan dan perlakuan setelah pemanasan sudah baik tetapi belum maksimal. Material masih dapat ditingkatkan kekuatan mekaniknya apabila perlakuan panas setelah pencetakan diberikan dengan metode dan waktu yang paling optimal.



Gambar 7. Perbandingan Hasil Uji Tarik Material *Photopolymer*

Metode pencetakan yang perlu diperhatikan lebih lanjut terkait dengan orientasi arah pencetakan. Orientasi arah pencetakan berpengaruh terhadap kekuatan akhir material. Hal ini karena metode pencetakan dilakukan lapisan demi lapisan sampai model terbentuk secara sempurna. Selain metode pencetakan, perlakuan panas setelah pencetakan juga merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam proses pencetakan material menggunakan mesin pencetakan 3 dimensi. Hal tersebut dikarena proses proses pencetakan material menggunakan mesin pencetak 3 dimensi berjenis

stereolithography (SLA) merupakan proses yang belum sempurna, perlu adanya proses perlakuan setelah pencetakan selesai dilakukan [17]. Perlakuan panas setelah pencetakan yang dimaksud terkait dengan metode dan waktu yang diberikan pada material *photopolymer*. Alternatif metode pencetakan yang dapat digunakan selain menggunakan sinar matahari dapat berupa penggunaan laser ultraviolet maupun lampu ultraviolet. Pada dasarnya sinar ultraviolet diperlukan sebagai penyedia energi untuk mengaktifkan *photoinitiator*. Terdapat tiga komposisi utama pada *photopolymer* yaitu *photoinitiator*, pengikat (*binder*), dan monomer [18]. *Photoinitiator* merupakan unsur yang mengubah energi cahaya menjadi energi kimia terjadi paparan sinar ultraviolet, energi kimia digunakan pada reaksi kimia sehingga perubahan struktur polimer terjadi pada material *photopolymer*. Waktu paparan material *photopolymer* terhadap sinar ultraviolet akan sangat berpengaruh terhadap besar perubahan struktur polimer yang mengakibatkan kekuatan akhir mekanik [15].

4. Kesimpulan

Pengujian tarik material *photopolymer* dengan standar ASTM D638 mendapatkan hasil rata-rata tegangan maksimal sebesar 56,84 MPa dengan regangan sebesar 3,52%. Spesimen uji tarik *photopolymer* 1 memiliki nilai tegangan maksimal sebesar 56,25 MPa dengan regangan sebesar 3,47%. Spesimen uji tarik *photopolymer* 2 memiliki tegangan maksimal sebesar 56,33 MPa dengan regangan maksimal sebesar 3,54%. Sedangkan spesimen uji tarik *photopolymer* 3 memiliki nilai tegangan maksimal sebesar 57,94 MPa dengan regangan maksimal sebesar 3,55%. Nilai regangan dibawah 5% menunjukkan material *photopolymer* berjenis getas, ditunjukkan juga dengan hasil patahan yang halus. Dilihat dari tegangan yang diperoleh, nilainya belum maksimal sehingga perlu dilakukan pengamatan lebih lanjut terkait dengan waktu pemanasan untuk perlakuan panas setelah pencetakan.

5. Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik, 2020, "Indikator Kesejahteraan Rakyat Tahun 2020," *Katalog* Badan Pusat Statistik, 4102004.64: 37–39.
- [2] F. H. S. Al Haris, 2021, "Perancangan Tangan Prosthesis Bawah Siku Berbasis Flexy Hand 2 Dan Flex Sensor," *J. Teknoinfo*, 15: 105–111.
- [3] B. Maat, G. Smit, D. Plettenburg, P. Breedveld, 2018, "Passive prosthetic hands and tools: A literature review," *Prosthet. Orthot. Int.*, 42: 66–74.
- [4] CBIOM3S, "Tangan Bionik Universitas Diponegoro," 2020, www.cbio3s.undip.ac.id, diakses: 25 Februari 2022.
- [5] F. Cordella, 2016, "Literature review on needs of upper limb prosthesis users," *Front. Neurosci.*, 10: 1–14.
- [6] Shenzhen Esun Industrial Co., "Technical Data Sheet Standard Resin," 2020, www.esun3d.net, diakses: 25 Februari 2022.
- [7] ASTM A666, 2015, "Standard Specification for Annealed or Cold-Worked Austenitic Stainless Steel Sheet, Strip, Plate, and Flat Bar," West Conshohocken, ASTM International.
- [8] ASTM D638, 2019, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics," West Conshohocken, ASTM International.
- [9] C. Schmidleithner, D. M. Kalaskar, 2018 "Stereolithography, fr. 3D printing; IntechOpen," *IntechOpen*, 78147.
- [10] D. Bourell, 2017, "Materials for additive manufacturing," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, 66 : 659–681.
- [11] S. K. Parupelli, S. Desai, 2019, "A Comprehensive Review of Additive Manufacturing (3D Printing): Processes, Applications and Future Potential," *Am. J. Appl. Sci.*, 16: 244–272.
- [12] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, 2010, "*Material Science And Engineering An Introduction*, 8th Ed.," John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [13] D. Karalekas, D. Rapti, 2002, "Investigation of the processing dependence of SL solidification residual stresses," *Rapid Prototyp. J.*, 8: 243–247.
- [14] M. M. Hanon, A. Ghaly, L. Zsidai, Z. Szakál, I. Szabó, L. Kátai, 2021, "Investigations of the mechanical properties of dlp 3d printed graphene/resin composites," *Acta Polytech. Hungarica*, 18: 143–161.
- [15] N. Chantapanich, P. Puttawibul, K. Sithiseripratip, S. Sucharitpawatskul, S. Chantawerod, 2013, "Study of the mechanical properties of photo-cured epoxy resin fabricated by stereolithography process," *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 35: 91–98.
- [16] J. M. Dulieu-Barton, M. C. Fulton, 2002, "Mechanical properties of a typical stereolithography resin," *Strain*, 36: 81–87.
- [17] K. W. H. Ahmad, Z. Mohamad, N. Othman, S. H. C. Man, M. Jusoh, 2020, "The mechanical properties of photopolymer prepared via 3d stereolithography printing: The effect of uv curing time and anisotropy," *Chem. Eng. Trans.*, 78: 565–570.
- [18] C. Zhang, 2018, "Photopolymers in 3D printing applications Title: Photopolymers in 3D printing applications Supervisor (Arcada): Mirja Andersson," *Prog. Org. Coatings*, 74: 297–316.