



Optimasi Parameter 3D Printing Menggunakan Material PP Daur Ulang pada Spesimen ASTM 638 D 10 type 1 dengan *Response Surface Method*

Felix Krisna Aji Nugraha^{1✉}, Bertha Bintari Wahyujati²

^{1,2} Fakultas Vokasi, Universitas Sanata Dharma, Paingan Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

felix@usd.ac.id

Abstract

Recycling plastic waste is one way to minimize the negative impact on the environment. The use of additive manufacturing which speeds up the prototyping process and product design currently uses a 3D printer with ABS and PLA filament materials. Remaining filaments and unused parts/prototypes, or products that have been manufactured with actual materials will be discarded. This causes waste for the environment. The use of recycled filament for 3d printing machines is one way to deal with plastic waste, besides that the use of recycled filament is a way to reduce the cost of plastic filament. Recycled plastic filament is used for 3d printer machines with the Fused Deposition Modeling (FDM) type. In this method the plastic filament material is melted and then extruded according to the desired pattern. In this study the results of the prints were tested using the tensile test method. Parameters used, print temperature, layer height, print speed. Response data analysis uses the Response Surface Method (RSM) with the Box-Behnken type. The results of the tensile test data were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA). Based on the results of the ASTM D638-10 type 1 tensile test analysis, the print temperature parameter is 260°C, the layer height is 0.12 mm and the maximum print speed is 50 mm/s.

Keywords: Plastic Recycling, 3D Printer, Tensile Test, Optimization, Response Surface Method

Abstrak

Daur ulang sampah plastik merupakan salah satu cara untuk memperkecil dampak negative terhadap lingkungan. Penggunaan additive manufacture yang mempercepat proses prototype dan perancangan produk saat ini menggunakan 3D printer dengan bahan filamen ABS dan PLA. Sisa filamen dan part/ prototipe yang tidak digunakan, atau produk sudah diproduksi dengan material sesungguhnya akan dibuang. Hal tersebut menyebabkan sampah bagi lingkungan. Penggunaan filament daur ulang mesin 3d Printing merupakan salah satu cara untuk mengatasi sampah plastic, disamping itu pula penggunaan filament daur ulang merupakan salah satu cara untuk menekan biaya filament plastic. Filament Plastik daur ulang digunakan untuk mesin 3d Printer dengan tipe Fused Deposition Modeling (FDM). Pada metode tersebut bahan filament plastic dilelehkan kemudian diekstruksi sesuai dengan pola yang diinginkan. Pada penelitian ini hasil cetakan diuji dengan menggunakan metode uji tarik. Parameter yang digunakan, print temperature, *layer height*, *print speed*. Analisa data respon menggunakan Response Surface Method (RSM) dengan tipe Box-Behnken. Hasil data uji tarik dianalisis menggunakan Analisis of Variance (ANOVA). Berdasarkan hasil analisa uji tarik specimen ASTM D638-10 type 1 diperoleh parameter print temperature sebesar 260°C dan *layer height* sebesar 0,12 mm dan *print speed* maksimal sebesar 50 mm/s.

Kata kunci: Daur Ulang Plastik, 3D Printer, Uji Tarik, Optimasi, Response Surface Method

Jurnal Teknologi is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.



1. Pendahuluan

Dengan kemajuan teknologi material plastik sering dijumpai untuk pengganti material logam. Penggunaan polypropylene (PP) sering kita jumpai pada industri textile, otomotif, dan sebagainya. Data dari Kementerian Lingkungan hidup, bawasannya Indonesia menghasilkan 64 juta ton sampah plastik setiap tahunnya [1]. Penggunaan material filament Plastik pada proses rapid prototyping juga menyumbangkan dampak negative terhadap lingkungan hidup. Waktu yang dibutuhkan terurainya sampah plastik, dibutuhkan waktu ratusan tahun [2].

Maka daur ulang sampah plastik merupakan salah satu alternatif solusi dalam mengurangi dampak negative tersebut.

Prinsip kerja teknologi rapid prototyping adalah membuat benda kerja dengan menambahkan material layer demi layer [3]. Proses pembuatan produk tersebut dikenal dengan solid free from fabrication (SFF). Dari segi ekonomi proses tersebut membutuhkan biaya yang rendah dan waktu proses pengerjaan lebih cepat dibandingkan dengan proses manufacturing konvensional (pengurangan material). Jenis material yang digunakan dalam teknologi *rapid prototyping* antara lain *liquid based techniques* seperti *Fused Deposition Modeling* (FDM), *Stereolithography*

(SLA), dan *Standard for the Exchange of Product* (STP). Dengan metode *powder based techniques* seperti *Selective Laser Sintering* (SLS), dan dengan metode *solid based processes* seperti *Laminated Object Manufacturing* (LOM) [4]. Saat ini mayoritas metode yang terdapat pada teknologi rapid prototyping menggunakan *Fused Deposition Method* (FDM) [5], [6].

Dalam metode FDM material dilelehkan dan kemudian diekstruksikan pada pola dari objek yang akan dicetak tiap lapisannya [7]. Jenis material yang proses FDM antara lain polypropylene (PP), acetonitrile butadine styrene (ABS), polylactic acid (PLA), nylon, dan sebagainya [8], [9].

Kualitas pencetakan menggunakan 3D printing dalam dipengaruhi beberapa hal antara lain *temperature nozzle*, *print speed*, dan *layer height*. Untuk kombinasi parameter dilakukan dengan Metode *Design of Experiment* dengan *Response Surface Methodology Box Behnken* untuk dalam kombinasi parameter *temperature nozzle*, *print speed*, dan *layer height*. RSM digunakan untuk mengetahui prediksi optimal dari kombinasi parameter dan juga menghasilkan model matematis.

Metode *Design of Experiment* (DoE) menurut Johan Trygg dan Svante Wold, merupakan sebuah rancangan percobaan yang dilakukan melalui perubahan-perubahan yang telah direncanakan terhadap variabel input suatu proses atau *system* [10]. Dengan demikian dapat ditelusuri penyebab dan faktor-faktor yang membawa perubahan pada output sebagai respon dari eksperimen yang telah dilakukan. Biasanya percobaan atau eksperimen memvisualisasikan performance proses atau sistem misalnya kombinasi mesin, metode, orang dan sumber daya lainnya. Maka untuk menganalisisnya diperlukan pendekatan statistik yang diaplikasikan pada proses eksperimen. Singkatnya DoE terdiri dari sejumlah fase/tahapan, mulai dari tahap perencanaan sampai tahap interpretasi hasil eksperimen [11]. Desain eksperimen berguna untuk mengumpulkan informasi berupa data yang lengkap yang diperlukan dan berguna dalam melakukan penelitian persoalan yang dibahas.

Pembuatan variasi kombinasi parameter menggunakan *Response Surface Methodology Box Behnken* (RSMBB) yang digunakan untuk meneliti dan memilih kondisi proses dari kombinasi tingkat faktor penghasil respon yang optimal [12]. Maksud dari metode ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap respon, memodelkan hubungan antara variabel bebas dengan respon serta mendapatkan kondisi proses yang menghasilkan respon terbaik. Metode ini adalah kumpulan matematika dan statistik Teknik. Yang termasuk dalam metodologi permukaan respon (RSM)

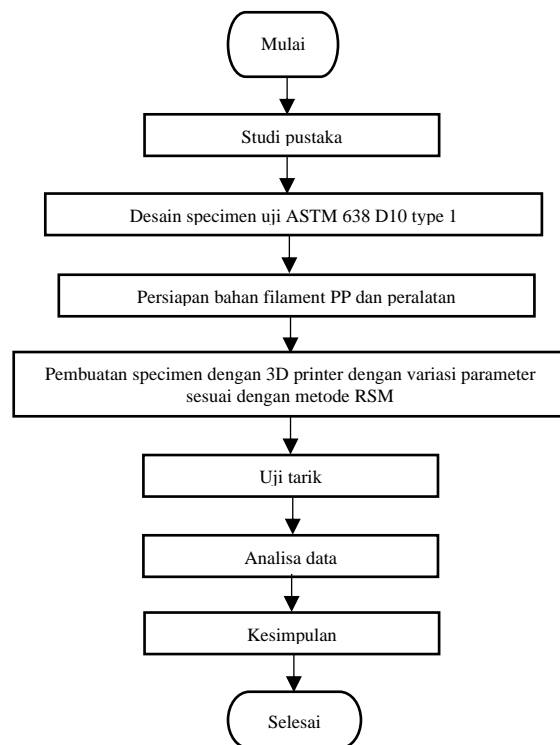
antara lain adalah *Taguchi Design*, *Central Composite Design*, dan *Box Behnken Design* [13], [14], [15].

Tujuan penelitian untuk mengetahui parameter optimal untuk pencetakan menggunakan 3D printer dengan filamen daur ulang filamen PP. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *printing temperature*, *layer height*, dan *printing speed*. Teknik pencetakan menggunakan mesin 3D printing dengan teknik FDM. Pengujian kualitas yang diterapkan adalah kualitas sifat mekanik material yang diujikan yaitu kekuatan terhadap gaya tarik. Pengolahan data untuk mengetahui parameter optimal menggunakan RSM.

2. Metodologi Penelitian

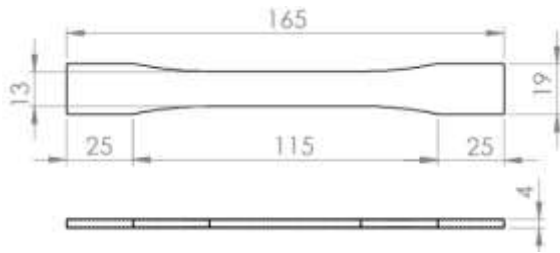
2.1 Metode

Pada penelitian ini dimulai dengan studi pustaka, dilanjutkan dengan pembuatan gambar spesimen, persiapan bahan dan alat. Langkah-langkah dapat dilihat pada Gambar 1.

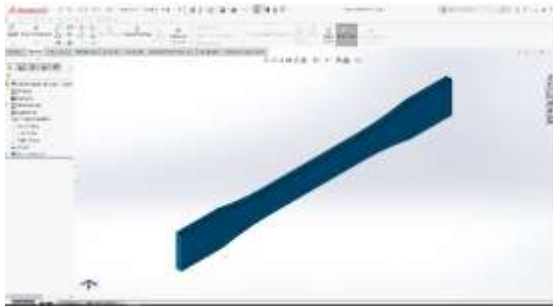


Gambar 1. Flow chart penelitian

Pembuatan menggunakan desain specimen uji tarik menggunakan standart ASTM D638-10 type 1 . Pemilihan spesimen D638-10 type 1 merupakan standart dari *American Society for Testing and Materials* (ASTM) untuk material plastik yang digunakan pada pengujian tarik [16]. Dimensi dan bentuk standar ASTM D638-10 type 1 seperti pada Gambar 2. Gambar 3 pembuatan desain specimen uji tarik dilakukan menggunakan *software* SolidWorks 2018



Gambar 2. Spesimen uji



Gambar 3. Spesimen uji

Untuk mengetahui kualitas dimensi dari hasil specimen cetak digunakan caliper dial alat ukur terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Caliper

Untuk filamen PP daur ulang menggunakan filamen filamen PP daur ulang. Berikut sifat-sifat property dari material PP daur ulang.

Tabel 1. Tabel property material daur ulang PP

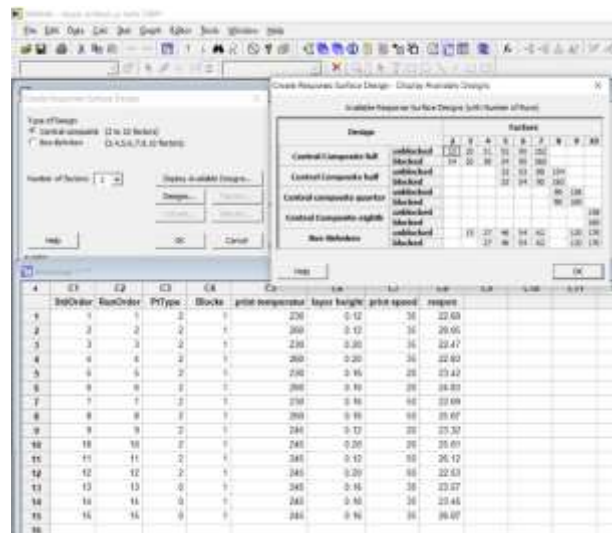
Property	keterangan
Diameter	1,75 mm
Specific Gravity	0,9 gr/cm ³
Tensile Strength	26 Mpa
Impact Strenght	0,05 kJ/m

Komposisi parameter untuk proses pencetakan dengan 3D Printer menggunakan 3 parameter yaitu printing temperature, layer height, dan print speed dengan 3 level pada masing masing parameter tersebut. Parameter dan level dapat dilihat pada Table 2.

Tabel 2. Tabel parameter dan level

Parameter	Nilai	Level		
		1	2	3
Printing temperature (°C)	230 - 260	230	245	260
Layer height (mm)	0,12 - 0,2	0,12	0,16	0,2
Print speed	20 - 50	20	35	50

Dengan menggunakan Software Minitab 3 faktor dengan 3 level tersebut dibuat kombinasi parameter untuk melakukan proses pencetakan. Metode DOE dengan RSM Box Behnken, dengan menggunakan 3 faktor parameter diperoleh 15 kombinasi parameter untuk proses pencetakan specimen seperti pada Gambar 5 dan Table 3.



Gambar 5. Mesin Uji tarik ZwickRoell Z200

Tabel 3. Tabel kombinasi level parameter

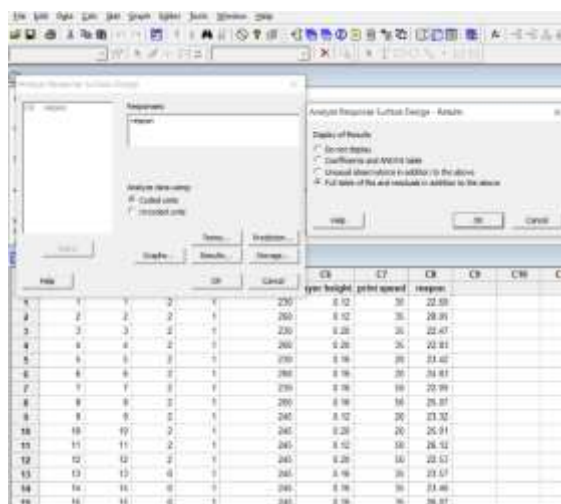
No	Printing temperature (°C)	Layer height (mm)	Print speed (mm/s)
1	230	0,12	35
2	260	0,12	35
3	230	0,2	35
4	260	0,2	35
5	230	0,16	20
6	260	0,16	20
7	230	0,16	50
8	260	0,16	50
9	245	0,12	20
10	245	0,2	20
11	245	0,12	50
12	245	0,2	50
13	245	0,16	35
14	245	0,16	35
15	245	0,16	35

Data respon diperoleh dengan besarnya kekuatan tarik dari masing-masing specimen hasil dengan menggunakan parameter seperti pada Tabel 3. Pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik universal ZwickRoell Z020 seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Mesin Uji tarik ZwickRoell Z020

Analisis data respon dilakukan menggunakan software Minitab 14 dengan pencarian parameter optimal menggunakan Respon Surface Method (RSM). Gambar 6. Menunjukkan software Minitab untuk proses analisis data pada penelitian ini



Gambar 6. Analisis Respon menggunakan Minitab 14

Setelah memperoleh data hasil uji tarik tersebut maka kemudian akan dianalisis dengan ANOVA. Tujuan analisis ini adalah faktor atau parameter mana yang berpengaruh pada proses pembuatan specimen [17].

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini dijelaskan bagaimana faktor dan level parameter yang berpengaruh pada kekuatan tarik specimen. Dari komposisi parameter yang didapat

kekuatan tarik dari masing-masing kombinasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel hasil uji Tarik

No	T (^o C)	L (mm)	S (mm/s)	σ_B (MPa)
1	230	0,12	35	22,69
2	260	0,12	35	28,05
3	230	0,2	35	22,47
4	260	0,2	35	22,83
5	230	0,16	20	23,47
6	260	0,16	20	24,83
7	230	0,16	50	22,09
8	260	0,16	50	25,07
9	245	0,12	20	23,32
10	245	0,2	20	25,01
11	245	0,12	50	26,12
12	245	0,2	50	22,53
13	245	0,16	35	23,57
14	245	0,16	35	23,46
15	245	0,16	35	26,07

T: Print temperature, L: layer height, S: print speed, σ_B : Tegangan tarik

Hasil data uji tarik dianalisis menggunakan Analisis of Varian (ANOVA). Hasil ANOVA terlihat pada Gambar 7.

Analysis of Variance for respon

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	33.9957	33.9957	3.7773	2.95	0.123
Linear	3	19.5851	19.5851	6.5284	5.10	0.056
Square	3	0.5748	0.5748	0.1916	0.15	0.925
Interaction	3	13.8358	13.8358	4.6119	3.61	0.101
Residual Error	5	6.3941	6.3941	1.2788		
Lack-of-Fit	3	2.0361	2.0361	0.6787	0.31	0.820
Pure Error	2	4.3581	4.3581	2.1790		
Total	14	40.3898				

Gambar 7. Analisis ANOVA

Berdasarkan uji ANOVA untuk respon masing masing parameter dilihat dari nilai P harus lebih kecil dari 0,05. Sehingga pada uji anova tidak ada faktor yang berpengaruh pada kualitas hasil printing.

Model matematis diperoleh dari pengolahan respon dengan metode RSM dengan Minitab diperoleh dengan melihat factor parameter dan koefisien hasil uji regresi, seperti terlihat pada Gambar 8.

Response Surface Regression: respon versus print temper, layer height, ...

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for respon

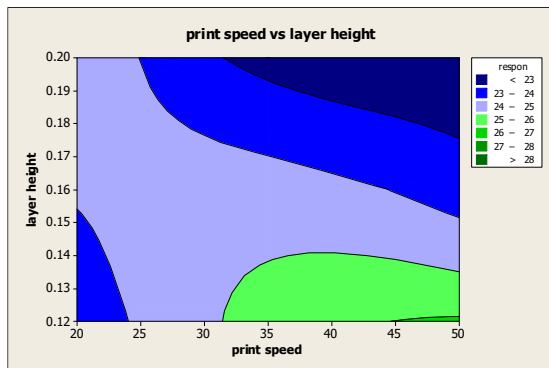
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	24.3667	0.6529	37.321	0.000
print temperatur	1.2638	0.3998	3.161	0.025
layer height	-0.9175	0.3998	-2.295	0.070
print speed	-0.0963	0.3998	-0.241	0.819
print temperatur ²	-0.3746	0.5885	-0.636	0.552
layer height ²	0.0179	0.5885	0.030	0.977
print speed ²	-0.1396	0.5885	-0.237	0.822
print temperatur*layer height	-1.2500	0.5654	-2.211	0.078
print temperatur*print speed	0.3925	0.5654	0.694	0.519
layer height*print speed	-1.3200	0.5654	-2.335	0.067

Gambar 8. Analisis regresi

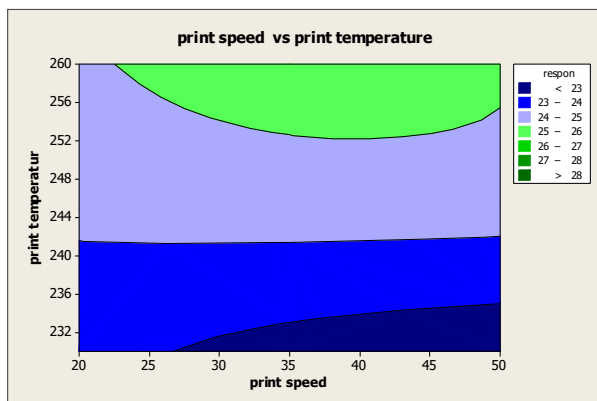
Model matematis sebagai berikut.

$$Y = 24,3667 + 1,2638T - 0,9175L - 0,0963S - 0,33746T^2 + 0,0179L^2 - 0,1396S^2 - 1,2500TL + 0,3925TS - 1,3200LS$$

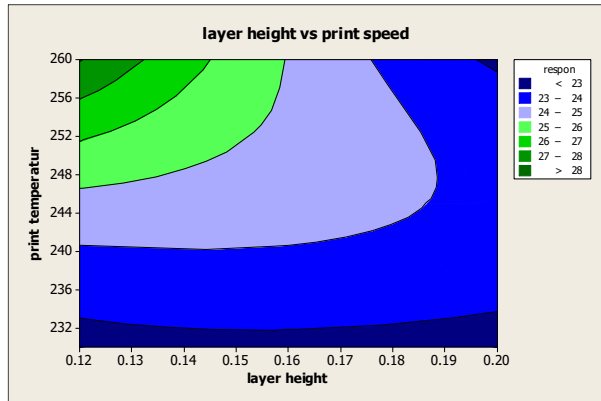
Berdasarkan gambar counter plot respon dapat dilihat untuk pengaruh parameter berpengaruh terhadap respon, Hal ini terlihat pada Gambar 9, 10, dan 11.



Gambar 9. Print speed vs layer height



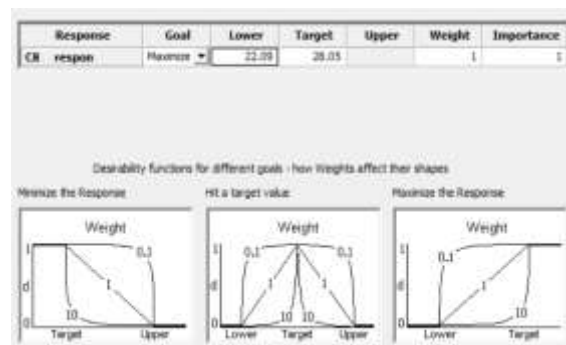
Gambar 10. Print speed vs print temperature



Gambar 11. Layer height vs print speed

Dari Gambar 9, 10, dan 11 target respon atau hasil uji tarik besarnya pada level gambar hijau tua dimana paling berpengaruh respon adalah print temperature yang besar sekitar 260°C dan layer height sebesar 0,12 mm.

Pada system RMS ini juga disimulasikan parameter optimal yang membuat kualitas cetak dapat optimal. untuk prediksi optimasi dapat dilihat pada gambar. Pada penelitian ini melakukan prediksi optimasi pada parameter untuk menghasilkan nilai kekuatan tarik yang lebih optimal. Hal ini terlihat pada Gambar 12. Tujuan dari respon mendapatkan nilai uji tarik yang maksimal dengan target seperti pada tabel 4, pada nomor 2 yaitu sebesar 28,05 MPa. Prediksi optimal dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Pengaturan maksimal respon

Hasil prediksi maksimal terlihat pada Gambar 12. Dimana parameter print temperature sebesar 260°C, layer height sebesar 0,12 mm, dan print speed sebesar 50 mm. dan didapat prediksi kekuatan tarik sebesar 28,917 MPa.

4. Kesimpulan

Dengan menggunakan metode Response Surface Method (RSM) Box Behnken diperoleh parameter untuk memperoleh kekuatan tarik maksimal adalah print temperature yang besar sekitar 260°C dan layer height

sebesar 0,12 mm dan *print speed* tidak terlalu berpengaruh. Prediksi parameter optimal terhadap respon diperoleh parameter *print temperature* sebesar 260°C, *layer height* sebesar 0,12 mm, dan *print speed* sebesar 50 mm, prediksi kekuatan tarik sebesar 28,917 MPa.

Perlu juga dibandingkan untuk metode RMS menggunakan *Central Composite Design*, sehingga bias dibandingkan untuk yang lebih akurat dalam optimasi parameter.

Daftar Rujukan

- [1] Priliantini, A., Krisyanti, K., & Situmeang, I. V. (2020). Pengaruh Kampanye #PantangPlastik terhadap Sikap Ramah Lingkungan (Survei pada Pengikut Instagram @GreenpeaceID)
DOI: 10.31504/komunika.v9i1.2387. *Jurnal Komunika : Jurnal Komunikasi, Media dan Informatika*, 9(1). <https://doi.org/10.31504/komunika.v9i1.2387>
- [2] Desy M, R., Sugito, R., & Atmaja, T. H. W. (2018). Sampah Anorganik sebagai Ancaman di Kawasan Ekosistem Hutan Mangrove Kuala Langsa. *Jeumpa*, 5(2), 84–90. <https://ejournalunsam.id/index.php/jempa/article/view/1127/946>
- [3] Kwapisz, M., Bajor, T., & Krakowiak, M. (2019). Analysis of Strength Changes of PLA samples made in 3D printing technology. *Metal*, 9, 1583–1588 <https://www.confer.cz/metal/2019/963-analysis-of-strength-changes-of-pla-samples-made-in-3d-printing-technology>
- [4] Lubis, S., & Djamil, S. (n.d.). Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3d Printing Bahan Polymer Pla Dan Abs Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk. *SINERGI*, vol. 20, no. 1, p. 27, 2016, <https://doi.org/10.22441/sinergi.2016.1.005>
- [5] Irawan, B. H., Hakim, R., Widiastuti, H., Kamsyah, D., & Sahputra, B. (2019). Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate Pada Mesin Leapfrog Creatr 3d Printer Terhadap Density dan Surface. *Teknologi, Jurnal Jatra, Terapan*, 1(1), 32–37. <https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA/article/view/1360>
- [6] Lubis, G. S., Taufiqurrahman, M., & Ivanto, M. (2021). Analisa Pengaruh Parameter Proses Terhadap Uji Tarik Produk Hasil 3D Printing Berbahan Polylatic Acid,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 2, p. 39, 2021, <https://doi.org/10.30588/jeemm.v5i2.877>
- [7] Nugraha, F. K. A. (2022). Shrinkage of Biocomposite Material Specimens [HA/Bioplactic/Serisin] Printed using a 3D Printer using the Taguchi Method. *International Journal of Applied Sciences and Smart Technologies*, 4(1), 89–96. <https://doi.org/10.24071/ijasst.v4i1.4205>
- [8] Finali, A., Hanafi, A. F., & U, R. E. P. (2021). Analisis Variasi Pattern 3D Printing terhadap Kekuatan Tarik Analysis of 3D Printing Pattern Variation on Tensile Strength. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin* 5(1), 16–19. <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/J-Proteksion/article/view/4320>
- [9] Widyo Nugroho, A., Tohidin, D., & Budiyanoro, C. (n.d.). Analisis pengaruh parameter proses terhadap kuat tarik produk 3D Printing dari bahan Polyvinyl Alcohol (PVA).,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 154–161, 2020. <https://doi.org/10.24127/trb.v9i2.1172>
- [10] Seprianto, D., & Wilza, R. (2017). Optimasi Parameter Pada Proses Pembuatan Objek 3D Printing Dengan Teknologi FDM Terhadap Akurasi Geometri. *Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gajah Mada*, November, 37–49. http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!@file_artikel_abstrak/Isi_Artikel_206157979831.pdf
- [11] Muttaqin, B. I. A. (2019). Telaah Kajian dan Literature Review *Design of Experiment* (DoE). *Journal of Advances in Information and Industrial Technology*, 1(1), 33–40. <https://doi.org/10.52435/jaiit.v1i1.10>
- [12] Nugraha, F. K. A., & Tontowi, A. E. (2016). Shrinkage of [HA/Bioplactic/Sericin] composite part printed by bioprinter. *AIP Conference Proceedings*, 1746, 1–7. <https://doi.org/10.1063/1.4953962>
- [13] Hadiyat, M. A. (2012). Response-surface dan Taguchi : Sebuah alternatif atau kompetisi dalam optimasi secara praktis. *Prosiding Seminar Nasional Industrialisasi Madura*, 134–139. <http://repository.ubaya.ac.id/3393>
- [14] Arinal Hamni, Opi Sumardi, Gusri Akhyar Ibrahim, A. Y. T. . (2013). Aplikasi Box Behnken Design Untuk Optimasi Parameter Proses Pemesinan Bubut Magnesium Az31 Menggunakan Pahat Putar Dan Udara Dingin Bertekanan. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://prosiding.bkstm.org/prosiding/2017/TPM-01.pdf>
- [15] Nurmiah, S., Syarif, R., Sukarno, S., Peranginangin, R., & Nurmata, B. (2013). Aplikasi Response Surface Methodology Pada Optimalisasi Kondisi Proses Pengolahan Alkali Treated Cottonii (ATC). *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 8(1), 9., doi: 10.15578/jpbkp.v8i1.49
- [16] Fountas, N. A., Kostazos, P., Pavlidis, H., Antoniou, V., Manolacos, D. E., & Vaxevanidis, N. M. (2020). Experimental investigation and statistical modelling for assessing the tensile properties of FDM fabricated parts. *Procedia Structural Integrity*, 26(2019), 139–146. doi: 10.1016/j.prostr.2020.06.017
- [17] Junri Lasmon Marpaung, Agung Sutrisno, R. L. (2017). Penerapan Metode Anova Untuk Analisis Sifat Mekanik Komposit Serabut Kelapa. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, 6, 151–162 <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>