

ANALISA PENGARUH KEMIRINGAN SUDUT SCREW EXTRUDER PADA PROSES PEMBUATAN FILAMENT 3D PRINTER PADA MESIN EKSTRUSI SINGLE SCREW

Muhammad Rasid¹⁾, Suparjo¹⁾, Dodi Tafrant^{1)*}, Ozkar F. Homzah¹⁾, Syamsul Ma'arif²⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya

²⁾ Mahasiswa Prodi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang 30139 Telp: 0711-353414, Fax: 0711-453211

*e-mail corresponding: dodi.tafrant@polsri.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diperbaiki:
Revised
20/04/2022

Diterima:
Accepted
26/04/2022

Publikasi Online:
Online-Published
30/04/2022

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah menghitung pengaruh kemiringan sudut screw extruder terhadap hasil filamen printer 3 dimensi yang dicetak dengan menggunakan mesin ekstrusi single screw. Parameter mesin yang digunakan pada penelitian adalah: kecepatan penarik 16 rpm, kecepatan ekstrusi 28 rpm, diameter cetakan ekstrusi 2 mm, serta suhu 180°C. Material yang digunakan adalah plastic HDPE daur ulang. Sedangkan kemiringan sudut screw pada riset yang dilakukan dengan memberikan 5 varian sudut kemiringan (0°, 10°, 15°, 20°, 25°) dimana diameter poros screw yang dipakai sama. Analisa data dilakukan menggunakan metode regresi linier sederhana.. Dimana hasil yang didapatkan adalah: 1) diameter filamen terkecil adalah 0.9 mm saat menggunakan screw dengan sudut 0°, dan 2) diameter tertinggi 1.86 mm saat menggunakan screw dengan sudut 25°. Kesimpulan yang diperoleh adalah kemiringan sudut helical screw mempengaruhi hasil ekstrusi plastik HDPE daur ulang, dimana pengaruh kemiringan sudut screw berbanding lurus dengan diameter filamen. Dalam arti lain, dengan adanya penambahan sudut kemiringan screw, maka diameter filamen yang dihasilkan juga akan bertambah besar. Selain itu, berdasarkan dari hasil pengukuran diameter filamen, simpulan yang dapat diambil adalah bahwa dengan bertambahnya diameter hasil ekstrusi, maka outflow yang didapatkan juga akan semakin besar.

Kata Kunci : Plastik HDPE Daur Ulang, Sudut Helikal, Kecepatan Putar, Temperatur, Screw Extruder

ABSTRACT

The purpose of this research is to calculate the effect of the screw extruder angle on the results of 3-dimensional printer filaments that are printed using a single screw extrusion machine. The machine parameters used in this study were: pull speed 16 rpm, extrusion speed 28 rpm, extrusion mold diameter of 2 mm, and temperature of 180°C. The material used is recycled HDPE plastic. While the tilt angle of the screw in the research conducted by providing 5 variants of the angle of inclination (0°, 10°, 15°, 20°, 25°) where the diameter of the screw shaft used is the same. Data analysis was carried out using a simple linear regression method. Where the results obtained were: 1) the smallest filament diameter was 0.9 mm when using a screw with an angle of 0°, and 2) the highest diameter was 1.86 mm when using a screw with an angle of 25°. The conclusion obtained is that the tilt angle of the helical screw affects the results of recycled HDPE plastic extrusions, where the effect of the screw angle tilt is directly proportional to the filament diameter. In other words, with the addition of the tilt angle of the screw, the diameter of the resulting filament will also increase. In addition, based on the results of measuring the diameter of the filament, the conclusion that can be drawn is that with the increase in the diameter of the extrusion result, the outflow obtained will also be greater.

©2022 The Authors. Published by
AUSTENIT (Indexed in SINTA)

doi:
<http://doi.org/10.5281/zenodo.6499827>

Keywords : Recycled HDPE Plastic, Helical Angle, Rotating Speed, Temperature, Screw Extruder

1 PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan di lingkungan, terutama di darat dan laut, adalah sampah plastik. Sisa-sisa plastik, baik itu plastik kemasan, perabot rumah tangga, dan banyak sisa produk lainnya menyebabkan penumpukan sampah plastik. Adanya sampah plastik yang bertumpuk serta tidak dikelola dengan baik, dapat menimbulkan kerusakan bagi kesehatan serta lingkungan (Karuniasuti et al, 2013). Kurangnya pengetahuan tentang pengolahan sampah plastik ikut memperparah masalah penanganan sampah plastik ini (Setyowati et al, 2013). Karakter dari sampah plastik yang susah diuraikan secara alamiah, proses pengolahan plastik juga dapat menimbulkan racun, yang bersifat karsinogen. Selain itu, penguraian sampah plastik secara alami juga membutuhkan waktu sangat lama. Dalam rangka mengurangi sampah plastik itu, dibutuhkan pengolahan sampah plastik yang benar. Metode pengelolaan sampah plastik ini dapat dilakukan dengan cara mendaur ulang, mengubah fungsinya sebagai sumber energi alternatif, menjadi bahan pembuat karbon aktif (Purwaningrum et al, 2016), dan menjadi produk-produk kreatifitas (Putra et al, 2010). Daur ulang sampah plastik menjadi filamen printer 3 dimensi dapat menjadi salah satu pilihan metode yang dapat dipakai. Proses ini dilakukan dengan menggunakan alat ekstrusi *single screw*. Filamen *printer 3 dimensi* cukup mahal di pasaran, hal ini membuat pemanfaatan daur ulang sampah plastik dapat mengurangi biaya yang dibutuhkan dalam proses pencetakan 3 Dimensi.

Sebagai salah satu teknologi yang sedang berkembang, teknologi printer 3 Dimensi mampu membuat produk dan komponen dengan cepat, mudah, dan akurat. Pencetakan 3 Dimensi biasanya digunakan untuk mencetak prototipe, model, alat peraga, desain-desain produk, dan banyak hal lainnya dalam bentuk 3 Dimensi (Wang, M.W et al, 2020) dengan akurasi yang tinggi (Seprianto et al, 2021). Dalam proses pencetakan dengan *printer 3 dimensi*, terdapat beberapa ukuran filamen *printer 3 dimensi*, namun yg biasanya digunakan adalah 1.75 mm. Penggunaan material plastik daur ulang PP sebagai filamen mempunyai parameter optimal pada suhu 260 °C, dan kecepatan cetak 20 mm/s (Pamasaria, et al., 2020).

Beberapa topik hangat terkait dengan rancang bangun mesin extruder plastik telah dibahas oleh beberapa peneliti semisal: Irawan et al (2018), Sonjaya et al (2019), Rinanto et al (2021), dan Djafar et al (2021). Serta Hanaf et al (2022) merancang bangun alat extruder filamen 3D Printing menggunakan bahan limbah plastik PP dan PET dengan variasi suhu pencairan bahan plastik yang digunakan. Selain itu, variasi perpindahan panas pada barrel ekstrusi menjadi topik yang diteliti oleh Yuzan, et al. (2020). Sementara itu, Mahfud, et al. (2020), Pamungkas,

et al. (2020), dan Tya, et al. (2020) menambahkan kontrol berbasis arduino Mega2560 pada mesin extruder rancangan mereka.

Screw sebagai salah satu komponen utama alat ekstrusi plastik, mempunyai fungsi menjadi poros pendorong dalam proses ekstrusi. Beberapa cacat ekstrusi dan proses pencetakan plastik dapat disebabkan karena pengaruh suhu (Akhmad, et al., 2017). Selain itu, permasalahan yang sering menjadi kendala pada proses ekstrusi plastik dalam pembuatan filamen *printer 3 dimensi* selama ini adalah tidak konsistennya diameter *filament* yang dihasilkan dari proses ekstrusi (Ikam, 2016). Penelitian yang dilakukan Suryana (2019) mendapatkan kesimpulan penyebab permasalahan kegagalan cetak produk plastik dapat disebabkan karena kurangnya suplai bahan baku yang dimasukkan ke dalam cetakan. Dalam hal ini, suatu inovasi semisal dengan memberikan perubahan desain *screw* dapat diterapkan sehingga dapat memberikan efek pada kualitas hasil ekstrusi produk plastik. Optimasi desain geometri *screw* pernah dilakukan oleh Altmann (2019) terhadap mesin cetak plastik injeksi yang berfokus pada tiga bagian *screw* standar. Desain perencanaan optimalisasi *screw* pada penelitian ini adalah dengan meningkatkan kemiringan sudut *Helix* yang terdapat pada sirip *Screw* mesin extruder filamen *3D printing* dengan tujuan meningkatnya keluaran (*outflow*) yang dihasilkan.

Dari latar belakang yang disebutkan, penelitian dimaksudkan untuk menghitung, dan menganalisa sejauh mana kemiringan sudut *helical screw* berpengaruh terhadap diameter filamen *printer 3 dimensi* yang dihasilkan.

2. BAHAN DAN METODA

2.1. Alat

Peralatan yang dipakai adalah:

- 1) Alat ekstrusi *single screw*
- 2) Kunci Pas-Ring
- 3) Jangka Sorong

2.2. Bahan

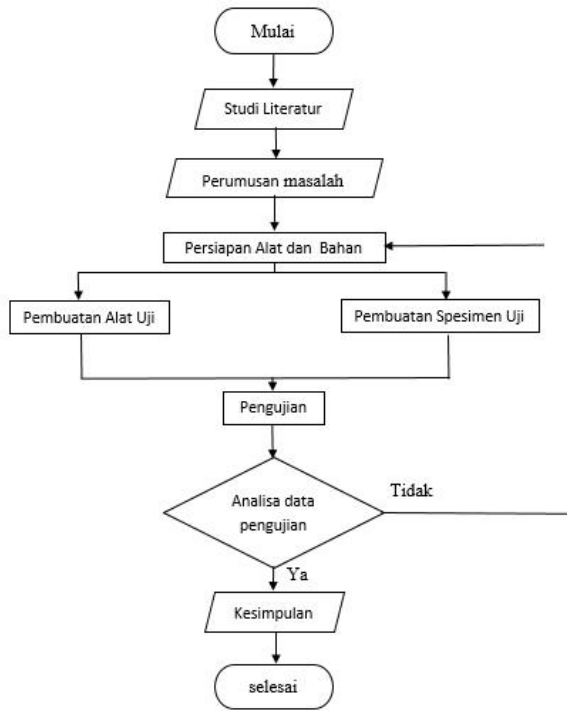
Selain alat, terdapat beberapa bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini. Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi bahan-bahan habis pakai dan variabel penelitian:

1) *Screw*

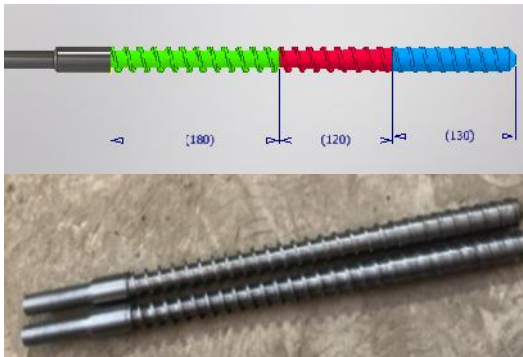
Screw yang digunakan pada penelitian ini memiliki kemiringan sudut heliks yang bervariasi. Terdapat 5 buah *screw* yang diuji. Kemiringan sudut *helical screw* yang digunakan adalah 0°, 10°, 15°, 20°, dan 25°. Sedangkan diameter *screw* yang digunakan

adalah adalah 27.5 mm dengan panjang 433 mm.

Adapun tahapan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Desain Screw dan screw

Terdapat 3 zona pada desain screw seperti yang ditunjukkan pada gambar 2: Warna hijau pada desain screw adalah zona penyaluran, di zona ini, bahan HDPE daur ulang masih mempunyai bentuk padat. Zona transisi ditandai dengan warna merah, merupakan zona dimana bahan plastik HDPE daur ulang diubah menjadi fluida dengan cara pemanasan menggunakan pemanas yang terdapat pada barrel. Zona ini juga disebut sebagai zona peralihan. Pada zona ini bentuk padat dari sampah plastik yang dicacah diubah menjadi bentuk cair. Zona berwarna biru disebut sebagai zona Melting. Material plastik telah

menjadi fluida yang berbentuk cair pada zona ini. Pada zona ini, cairan fluida plastik mengalami degradasi temperatur. Bahan plastik yang telah mengalami pengurangan temperatur kemudian masuk ke cetakan ekstrusi untuk kemudian dibentuk menjadi filamen printer 3 dimensi.

- 2) Plastik HDPE daur ulang
Plastik HDPE daur ulang yang digunakan pada penelitian ini adalah botol bekas wadah pelumas mesin kendaraan bermotor.



Gambar 3. Plastik HDPE

2.3. Proses Pembuatan Filament

Mesin yang digunakan pada proses pembuatan filamen printer 3 dimensi adalah mesin ekstrusi *single screw*. Terdapat 5 variasi sudut yang berbeda, yaitu 0°, 10°, 15°, 20°, dan 25°. Parameter mesin yang digunakan adalah: kecepatan motor penarik 16 rpm, kecepatan ekstrusi 28 rpm, dan suhu 180°C. Pada proses pembentukan filamen, cetakan yang digunakan berbentuk lingkaran berdiameter 2 mm.



Gambar 4. Pembuatan Filamen dan hasilnya

2.4. Pengukuran Diameter Filamen



Gambar 5. Pengukuran Diameter Filamen

Pengukuran diameter filamen menggunakan alat ukur jangka sorong digital seperti pada gambar 5.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian

Penelitian dilakukan pada suhu 180 °C, kecepatan sudut *screw* ekstrusi adalah 28 rpm, serta kecepatan sudut motor penarik adalah 16 rpm dengan data seperti ditunjukkan tabel 1:

Tabel 1. Hasil Pengujian

Spesi men	Titik	Suhu (°C)	Kec. Ekstru-si	Kec. Penarik (RPM)	Sudut	Dia. (mm)	Dia. rata-rata
1	1A	180	28 Rpm	16 Rpm	0°	0.7	0.9
	1B					0.9	
	1C					1.1	
2	2A				10°	1.1	1.36
	2B					1.4	
	2C					1.6	
3	3A				15°	1.3	1,46
	3B					1.6	
	3C					1.5	
4	4A				20°	1.5	1.66
	4B					1.7	
	4C					1.8	
5	5A				25°	2.1	1.86
	5B					1.7	
	5C					1.8	

Berdasarkan tabel 1, sudut *helical screw* terhadap diameter filamen hasil ekstrusi. Proses pembuatan filamen menggunakan mesin ekstrusi *single screw*. Diameter filamen terkecil yang dihasilkan adalah 0,9 mm saat menggunakan *screw* dengan sudut 0°. Berlawanan dengan hal itu, diameter filamen paling besar adalah 1,86 mm saat menggunakan *screw* dengan sudut 25°.

Setelah ukuran diameter filamen didapatkan, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dengan perhitungan regresi sederhana. Hal ini dilakukan untuk menghitung sejauh mana efektifitas sudut *helical screw* terhadap diameter filamen.

Variable analisa:

- X = sudut *helical screw*
- Y = diameter filamen

Tabel 2. Diameter Filamen (Y) Dengan Sudut Helical Screw (X)

Sudut Helical Screw (X)	Diameter Filamen (Y)
0°	0,9
10°	1,36
15°	1,46
20°	1,66
25°	1,86
= 70	= 7,24



Gambar 6. Pengaruh Sudut Helical Screw terhadap Diameter Filamen

Tabel 3. Perhitungan Pengolahan data

No	X	Y	X.Y	X ²	Y ²
1	0	0,9	0	0	0,81
2	10	1,36	13,6	100	1,8496
3	15	1,46	21,9	225	2,1316
4	20	1,66	33,2	400	2,7556
5	25	1,86	46,5	625	3,4596
Σ	70	7,24	115,2	1350	11,0064

$$a = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum XY}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{7,24 * 1350 - 70 * 115,2}{5 * 1350 - 70^2}$$

$$a = 0,924324$$

$$b = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{5 * 115,2 - 70 * 7,24}{5 * 1350 - 70^2}$$

$$b = 0,037405$$

- Multiple R (nilai korelasi)

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2) (n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

$$r = \frac{5 * 115,2 - 70 * 7,24}{\sqrt{(5 * 1350 - (70)^2) (5 * 11,0064 - (7,24)^2)}}$$

$$r = 0,995026$$

Korelasi antara sudut *helical screw* dengan diameter filamen (Multiple R) adalah 0,995026. Dapat digolongkan pada kategori sangat berpengaruh. Hal ini memberikan pengertian bahwa sudut *helix screw* sangat berpengaruh terhadap diameter *filament*.

- Koefisien determinasi (R²)

$$R^2 = r^2$$

$$R^2 = 0,995026^2$$

$$R^2 = 0,990077$$

Koefisien determinasi (R^2) adalah 0,990077, memerikan makna bahwa besar pengaruh sudut *helical screw* terhadap besarnya diameter filamen adalah 99,0077% sedangkan 0,9923 % dipengaruhi oleh faktor-faktor lain.

Tabel 4. Summary Output

SUMMARY OUTPUT	
Regression Statistics	
Multiple R	0,995026
R Square	0,990076
Adjusted R Square	0,986768
Standard Error	0,04159
Observations	5

- Hasil yang ditunjukkan oleh output Anova adalah F-hitung = 299,9 dan nilai signifikansi (P-value) = 0,00042.

- SS Regression

$$SSR = b^2 \left(X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n} \right)$$

$$SSR = 0,037405^2 \left(1350 - \frac{(70)^2}{5} \right)$$

$$SSR = 0,51768$$

- SS Residual (SSE)

$$SSE = SSTo - SSR$$

$$SSE = 0,52288 - 0,51768$$

$$SSE = 0,0052$$

- SS Total (SSTo)

$$SSTo = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n}$$

$$SSTo = 11,0064 - \frac{(7,24)^2}{5}$$

$$SSTo = 0,52288$$

- MS Regression (MSR)

$$MS = \frac{SSR}{1}$$

$$MS = \frac{0,51768}{1}$$

$$MSR = 0,51768$$

- MS Residual (MSE)

$$MSE = \frac{SSE}{(n - 2)}$$

$$MSE = \frac{0,0052}{(5 - 2)}$$

$$MSE = 0,001733$$

Tabel 5. Anova Output

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0,51769	0,51769	299,29	0,00042
Residual	3	0,00519	0,00173		
Total	4	0,52288			

Berdasarkan perhitungan pengolahan data, didapatkan: 1) Nilai konstanta (a) adalah 0,9243243. 2) Nilai koefisien regresi (b) adalah 0,0374054 dengan nilai t-hitung (t_0) adalah 17,3 serta nilai signifikansi 0,0004209. Koefisien regresi bernilai positif bermakna bahwa sudut kemiringan *helical screw* memberikan pengaruh positif terhadap diameter filamen hasil ekstrusi. Hal ini bermakna bahwa penambahan sudut *helical screw* berbanding lurus dengan diameter filamen yang dihasilkan.

- t-Stat (t_{hitung})

$$th = \frac{r \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}}$$

$$th = \frac{0,995026 \sqrt{5 - 2}}{\sqrt{1 - 0,990077}}$$

$$th = 17,3$$

Sehingga persamaan pengaruh *sudut helix* terhadap diameter *filament* yang didapatkan adalah: $Y = 0,92432 + 0,03741X$

Tabel 6. Output Koefisien

	Koefisien	Error Standar	t-Stat	P-value
Intercept	0,92432	0,03553	26,01682	0,00013
X	0,03741	0,00216	17,3	0,00042

3.2. Pengujian Hipotesis

Berdasarkan perhitungan statistik yang dilakukan, maka:

Hipotesis

- $H_0 : b = 0$ (diameter filamen tidak dipengaruhi oleh kemiringan sudut *helical screw*).
- $H_a : b \neq 0$ (diameter filamen dipengaruhi oleh kemiringan sudut *helical screw*).

Statik uji.

- Analisis regresi memperoleh nilai F-hitung = 299,9 dengan signifikansi 0,0004209.
- Output tabel koefisien memperoleh nilai koefisien regresi (b) = 0,037406; dimana nilai t-hitung (t_0) = 17,3; serta nilai signifikansi (P-value) = 0,000421.

Daerah kritis; = 5%

- H_0 ditolak apabila $F_0 > F_{(k-1)(n-k)}$; $F_{0,05(1)(3)} = 10,1280$; atau P-value < (uji-F dua sisi), atau
- H_0 ditolak jika $t_0 > t_{(n-k)}$; $t_{0,05(3)} = 3,182$ atau P-value < (uji-t dua sisi).

Analisa hasil penelitian:

- H_0 ditolak karena $F_0 > F_{(k-1)(n-k)}$ yaitu $299,9 > 10,1280$; dimana P-value $0,000421 < 0,05$; sehingga H_a diterima. Hal ini berarti bahwa diameter filamen hasil ekstrusi dipengaruhi oleh kemiringan sudut *helical screw*.

- Jika menggunakan uji-t, maka H_0 ditolak karena $t_0 > t$ ($n-k$) yaitu $17,3 > 3,182$; dimana P -value $0,000421 < 0,05$, sehingga H_a diterima. Hal ini berarti bahwa diameter filamen hasil ekstrusi dipengaruhi oleh kemiringan sudut *helical screw*.

4. KESIMPULAN

Pengujian pengaruh kemiringan sudut *helical screw* terhadap diameter filamen pada mesin ekstrusi *single screw*. Variasi kemiringan sudut *screw extruder* adalah 0° , 10° , 15° , 20° , dan 25° . Suhu, kecepatan penarik, dan kecepatan ekstrusi adalah konstan didapat hasil sebagai berikut:

1. Setiap penambahan kemiringan sudut *screw extruder* berbanding lurus terhadap diameter filamen hasil ekstrusi. Hal ini juga berarti bahwa pada setiap penambahan kemiringan sudut *screw*, maka *outflow* yang dihasilkan juga yang semakin tinggi.
2. Diameter filamen terkecil didapatkan dari *screw* dengan sudut *helical* 0° , dimana diameter rata-rata filamen adalah 0.9 mm. Diameter paling besar didapatkan dari *screw* dengan sudut *helical* 25° . Diameter rata-rata filamen adalah 1.86 mm. Hal ini disebabkan karena pada *screw* 0° tidak terdapat tekanan dari *screw* pada saat pencetakan filamen.

DAFTAR PUSTAKA

- S. Akhmad, dan P. Prasetyo. Mesin *Hotpress* Untuk *Recycle* Plastik HDPE Dan Karakterisasi Faktor Pencetakan Terhadap Cacat Dan Konsumsi Energi. Seminar Nasional Riset Inovatif 2017. Hal. 912-919 ISBN: 978-602-6428-11-0
- D. Altmann, T. Kopplmayr, dan G. Steinbichler. 2019. Analytical and Numerical Methods for Optimizing Screw Geometries of an Injection Molding Plasticizing Unit with Focus on Standard Three-Section Screws. AIP Conference Proceedings 2065, pp.030040-01 – 030040-5. <https://doi.org/10.1063/1.5088298>
- A. Djafar, dan M.A. Fatoni. 2021. Perancangan Mesin Single Screw Extruder Untuk Daur Ulang Plastik LDPE Menjadi *Filament Feed 3D Printing*. Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa Volume 26 No. 3 Hal.205-217. <https://doi.org/10.35760/tr.2021.v26i3.4416>
- Hanafi, I. Sujana, dan R.A. Wicaksono. 2022. Rancang Bangun Alat Ekstruder Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik *Polypropylene* Dan *Polyethylene Terephthalate* Untuk Menghasilkan Filamen *3D Printing*. Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN). Vol. 3, No. 1. Hal. 20-26
- <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/view/51308>
- B. Ikam. 2016. Pengaruh Temperatur Dan Line Speed Pada Proses Pembuatan Kabel Optik Yang Mengalami Kecacatan Diselubung Kabel Pada Mesin Extruder. Jurnal Teknik Mesin Vol. 05, No. 2. Hal. 1-13 ISSN: 2089-8235
- D. Irawan, dan R.M. Bisono. Rancang Bangun Prototype Mesin Ekstrusi Polimer Single Screw. Seminar Nasional Multidisiplin. Hal. 13-19. Jombang 2018. <https://ejournal.unwaha.ac.id/index.php/snami/article/view/259>
- N. Karuniastuti. 2013. Bahaya Plastik Terhadap Kesehatan dan Lingkungan. Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas, Vol 3, No. 1. Hal. 6-14. <http://ejournal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/43>
- R. Mahfud, Y. Setyoadi, dan A. Burhanudin. Rancang Bangun Mesin *Filament Extruder* Yang Berbasis Arduino Mega2560 Dengan Metode Penarik Dan Penggulung Otomatis. Science And Engineering National Seminar 5. Hal. 544-553. Semarang 2020. <http://conference.upgris.ac.id/index.php/sens/article/view/1519>
- H.A. Pamasaria, et al. 2020. Optimasi Keakuratan Dimensi Produk Cetak 3D *Printing* berbahan Plastik PP Daur Ulang dengan Menggunakan Metode Taguchi. JPM: Jurnal Material dan Proses Manufaktur Vol. 4, No.1. Hal. 12-20 <https://doi.org/10.18196/jmpm.4148>
- I.J. Pamungkas, Y.S. Adi, A. Burhanuddin. Rancang Bangun Mesin *Filament Extruder* Yang Berbasis Arduino Mega2560 Dengan Hasil Polyactic Acid (PLA). Science And Engineering National Seminar 5. Hal. 514-525. Semarang 2020. <http://conference.upgris.ac.id/index.php/sens/article/view/1523>
- P. Purwaningrum. 2016. Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik Di Lingkungan. JTL Vol. 8 No. 2. Hal. 141-147 <https://www.trijurnal.lemli.trisakti.ac.id/urbanenvirotech/article/view/1421>
- H.P. Putra, Y. Yuriandala. 2010. Studi Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Produk dan Jasa Kreatif. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan Vol. 2 No. 1. Hal. 21-31 <https://doi.org/10.20885/jstl.vol.2.iss1.art3>
- A. Rinanto, et al. 2021. Pembuatan Extruder *Filament 3D Printer* Dengan Bahan *Recycle Plastik PP*. IMDeC 2021 (Industrial and Mechanical Design Conference 2021). Hal. 58-66. Surakarta 2021. <https://publikasi.atmi.ac.id/index.php/imdecatmi/article/view/108>
- R. Setyowati, dan S.A. Mulasari. 2013. Pengetahuan dan Perilaku Ibu Rumah Tangga dalam Pengelolaan Sampah Plastik. Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional Vol. 7, No. 12.

- Hal. 562-566.
<http://dx.doi.org/10.21109/kesmas.v7i12.331>
- M.L. Sonjaya. 2019. Rancang Bangun Mesin Extruder Plastik Pada Pemanfaatan Limbah Plastik Dengan Menggunakan Screw Dan Barrel Bronze. *Majalah Teknik Industri* Vol. 27 No. 2. Hal. 32-38.
<https://journal.atim.ac.id/index.php/majalatekni/industri/article/view/39>
- T. Suryana. 2019. Desain Modifikasi Screw Extruder Untuk Meningkatkan Outflow Yang Optimal Dan Meminimalkan Cacat Produk Pada Plastik. *Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ* Vol. 9 No. 1. Hal. 19-27.
<https://doi.org/10.35814/teknobiz.v9i1.886>
- R.A. Tya, Y. Setyoadi, dan A. Burhanudin. Rancang Bangun Mesin *Filament Extruder* Yang Berbasis Arduino Mega2560 Dengan Hasil Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). *Science And Engineering National Seminar 5*. Hal.495-506. Semarang 2020.
<http://conference.upgris.ac.id/index.php/sens/article/view/1526>
- M.G. Yuzan. 2021. Pengaruh Perpindahan Panas Tabung Barrel Pada Mesin Extruder Plastik. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]* Vol 1 No. 3. Hal. 1-8
<http://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/view/523>
- H. Hamod. *Suitability of recycled HDPE for 3D Printing Filament*. Arcada University of applied science.
<https://www.theseus.fi/handle/10024/86198>
- I. Mujiarto. 2012. Sifat Dan Karakteristik Material Plastik Dan Bahan Aditif. *Jurnal Traksi* Vol. 3. No. 2. Hal. 65-74.
https://www.academia.edu/35832939/Sifat_dan_karakteristik_material_plastik_dan_bahan_aditif
- Seprianto, D., Nur Hidayat & Romi Wilza. 2021. "Penyimpangan Dimensi Proses Produksi Gear Dengan Menggunakan Teknologi Dlp (Digital Light Processing) 3d Printer". *Jurnal Austenit, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya*. Vol. 13 No.1. Hal. 13-17.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4744091>
- Sutarto, Auditya Purwandini. 2019. *Probailitas & Statistic Dasar Untuk Sains*. PT.Pustaka Baru.
- Wang. M. W., et al. 2019. "Optimal Design of Plasticizing Screw Using Artificial Intelligent Approach". 3rd Forum in Research, Scince and Technology IOP Conference Series: Journal of Physic: Conf.Series 1500 012022.
<http://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012022>