



Research Article

## Analisa Uji Kekerasan Roda Gigi Lurus Dengan Sistem *Rapid Prototyping Fuse Deposition Modeling*

*Eko Julianto*<sup>\*1</sup>, *Dimas Saputra*<sup>2</sup>, *Fuazen*<sup>3</sup> dan *Eko sarwono*<sup>4</sup>

*Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Pontianak*

\*Corresponding author: [eko.julianto@ummuhpnk.ac.id](mailto:eko.julianto@ummuhpnk.ac.id)

### Article History:

Online first:  
26 June 2022

**Keywords:** 3Dprinter;  
PLA(PolylacticAcid);  
Rockwell; ANOVA

**Kata Kunci:** Printer 3D; PLA  
(Polylactic Acid); Rockwell;  
ANOVA

### ABSTRACT

*This study is to determine the hardness value of PLA (Polylactic Acid) material based on variations in 3D printer printing parameters with temperatures of 200 ° C and 220 ° C and layer height of 0.1 mm and 0.2 mm as the basis for designing spur gears. The hardness testing process is carried out using a hardness rockwell tester then a comparison of the calculation of the hardness value is carried out based on the indentation of the rockwell test results. The test standard used is ISO 2039-2: 2000. The data collection technique is done quantitatively based on literature study, observation and consultation. The test results were analyzed statistically using two-way ANOVA. From this test, it was found that the best hardness value was in the temperature parameter of 220 ° C and a layer height of 0.1 mm.*

### ABSTRAK

Penelitian ini mengetahui nilai kekerasan bahan PLA (Polylactic Acid) berdasarkan variasi parameter cetak printer 3D dengan temperatur 200°C dan 220°C serta tinggi lapisan 0,1 mm dan 0,2 mm sebagai dasar perancangan roda gigi lurus. Proses pengujian kekerasan dilakukan menggunakan hardness rockwell tester kemudian dilakukan perbandingan dari perhitungan nilai kekerasan berdasarkan kedalam indentasi hasil pengujian rockwell. Standar uji yang digunakan ISO 2039-2 : 2000. Pengumpulan data dilakukan secara kuantitatif berdasarkan studi literatur, observasi dan konsultasi. Hasil pengujian di Analisa secara statistic menggunakan ANOVA dua arah. Dari pengujian ini didapatkan nilai kekerasanterbaik ada pada parameter temperatur 220°C dan tinggi lapisan 0,1 mm.

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi mengalami peningkatan yang sangat pesat seiring dengan perkembangan jaman. Dalam perkembangan industri yang bergerak di bidang manufaktur,

desain suatu produk menjadi bagian yang sangat penting sebagai modal untuk meningkatkan nilai penjualan (Sumantri, 2012).

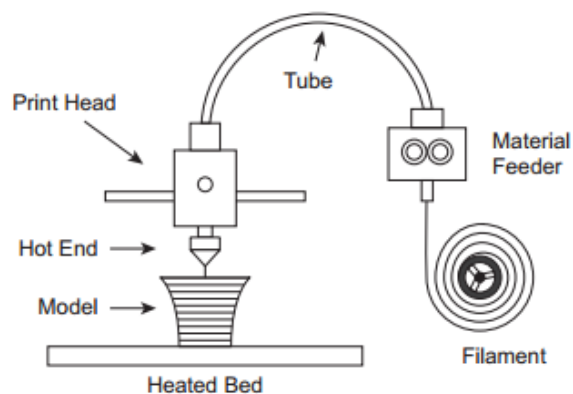
Dalam proses manufaktur, salah satu tahap produksi yaitu pembuatan model pertama atau prototype. Proses pembuatan prototype akan menjadi lebih efisien jika dilakukan menggunakan printer 3D dibanding dengan cara konvensional (Tseng A.A, 2000).

Proses cetak menggunakan printer 3D dengan metode fused deposition modeling dilakukan dengan cara menambahkan material pada setiap lapisan secara berturut-turut hingga terbentuk produk yang sesuai dengan model (Kiswanto, 2010). Proses pencetakan dimulai dengan membuat desain 3 dimensi menggunakan aplikasi desain seperti Auto CAD, Solidwork ataupun Free CAD, hasil desain kemudian diekstrak dalam format STL (StereoLithography) dan dikonversi menjadi format gcode menggunakan aplikasi slicer seperti Cura ataupun Slic3r, hal ini bertujuan agar desain 3 dimensi yang telah dibuat sebelumnya dapat dibaca oleh printer 3D untuk selanjutnya dicetak menjadi objek 3 dimensi.

## METODE PENELITIAN

### *Fused Disposition Modelling*

Fused Diposition Modelling (FDM) adalah metode pembuatan prototype dengan proses pelelehan material termoplastik menggunakan mekanisme ekstruder dimana proses pembentukan objek dilakukan melalui proses lapis demi lapis (Tatsuaki, 2006).



Gambar 1. Bagian-bagian pada mesin FDM (Thomas dkk, 2016)

Adapun komponen-komponen yang terdapat dalam sebuah printer 3D dengan metode Fused Diposition Modelling yaitu :

- Rangka, sebagai penopang utama printer 3D
- Print Head, terdiri dari pemanas dan kipas yang berfungsi menggerakkan dan melelehkan filame.
- Nozzle, berfungsi mengeluarkan filamen setelah melewati pemanas
- Bed atau Build Platform, permukaan datar sebagai tempat untuk mencetak
- Bowden, berfungsi untuk mengatur filamen saat ditarik atau didorong oleh motor
- Moving Part, berfungsi melakukan pergerakan arah sumbu x,y dan z seperti motor stepper, *lead screw*, *belt* dan *pulley*.
- Electronics Control, terdiri dari mikroprosesor dan sebuah board yang berfungsi sebagai kontrol untuk program pada mesin 3D printing

Dalam proses cetak objek 3 dimensi menggunakan printer 3D ada beberapa tahap yang

harus dilakukan yaitu :

- Desain Model, membuat desain objek 3 dimensi menggunakan program CAD (Computer Aided Design).
- Proses Slicing, hasil dari proses CAD dilanjutkan ke program slicer agar desain 3 dimensi terbaca oleh printer 3D, pada proses slicing ini parameter dalam proses cetak dapat disesuaikan seperti suhu cetak, tinggi lapisan, jumlah isian atau model isian.
- Proses Cetak 3D, tahap akhir yaitu proses cetak menggunakan printer 3D, dalam hal ini pemahaman penggunaan printer 3D diperlukan sebagai kontrol akhir dalam pencetakan.

Pada penelitian ini bahan cetak yang digunakan yaitu filamen jenis PLA (Polylactic Acid), polyester alifatik termoplastik biodegradable dan bioaktif yang berasal dari sumber daya terbarukan. Adapun Sifat fisik dari bahan ada pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Sifat Fisik PLA

No	Sifat Fisik	Polylactic Acid (PLA)
1	Suhutransisikaca (°C)	55-70
2	Titikleleh (°C)	130-215
3	Kuat tarik (Mpa)	49
4	Elongasi (%)	2,5
5	Densitas(g/cm <sup>3</sup> )	1,25

Sumber : Lu and Chen, 2004

### Teori Kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Ada 3 (tiga) jenis ukuran kekerasan, sesuai dengan cara melakukan pengujian yaitu :

- Kekerasan goresan (scratch hardness)
- Kekerasan lekukan (indentation hardness)
- Kekerasan pantulan (rebound hardness)

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengukur indentasi menggunakan metode Rockwell dengan standar uji ISO 2039-2 : 2000 dan perbandingan pengukuran kedalaman indentasi menggunakan jangka sorong digital.

Tabel 2. Skala kekerasan Rockwell dan hurufawalannya berdasarkan standar ISO 2309-2 : 2000

Rockwell Hardness Scale	Minor Load ( N )	Major Load ( N )	Indentor Diameter ( mm )
R	98,07	588,4	12,7±
L	98,07	588,4	6,35±
M	98,07	980,7	6,35±
E	98,07	980,7	3,175±

## HASIL DAN DISKUSI

### Data Cetak Spesimen

Spesimen pengujian dicetak dengan 2 (dua) jenis parameter, yaitu parameter umum yang

digunakan pada semua spesimen uji dan parameter Analisa yaitu variasi cetak berdasarkan tinggi lapisan cetak dan suhu cetak. Adapun parameter tersebut tersaji pada tabel dibawah ini :

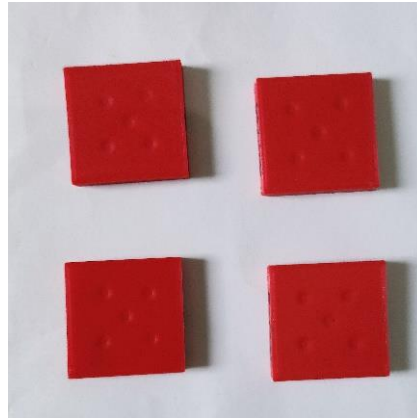
Tabel 3. Parameter Umum

Parameter	Nilai
Kecepatan	40 mm/detik
Kepadatan Isi	50%
Pola Dinding, Atas dan bawah	Garis
Pola Isi	Kotak
Tebal Dinding	1,2 mm
Tebal Bagian Atas dan Bawah	1,2 mm

Tabel 4. Parameter Analisa

No. Spesimen Uji	Suhu	Tinggi Lapisan Cetak
1	200	0,2
2	200	0,2
3	200	0,2
4	220	0,2
5	220	0,2
6	220	0,2
7	200	0,1
8	200	0,1
9	200	0,1
10	220	0,1
11	220	0,1
12	220	0,1

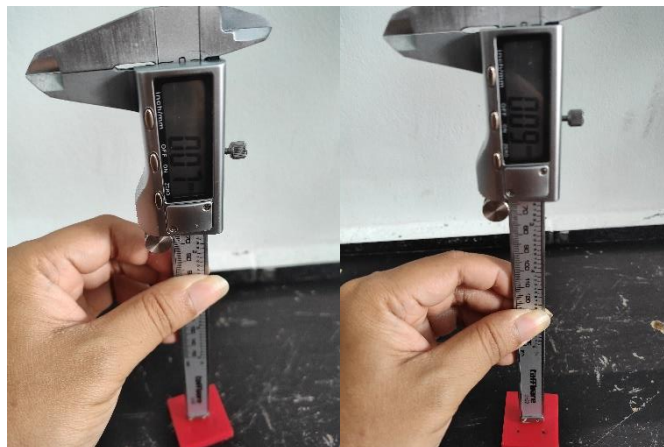
Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar dan tabel dibawah ini :



Gambar 2. Hasil Pengujian Pada Spesimen



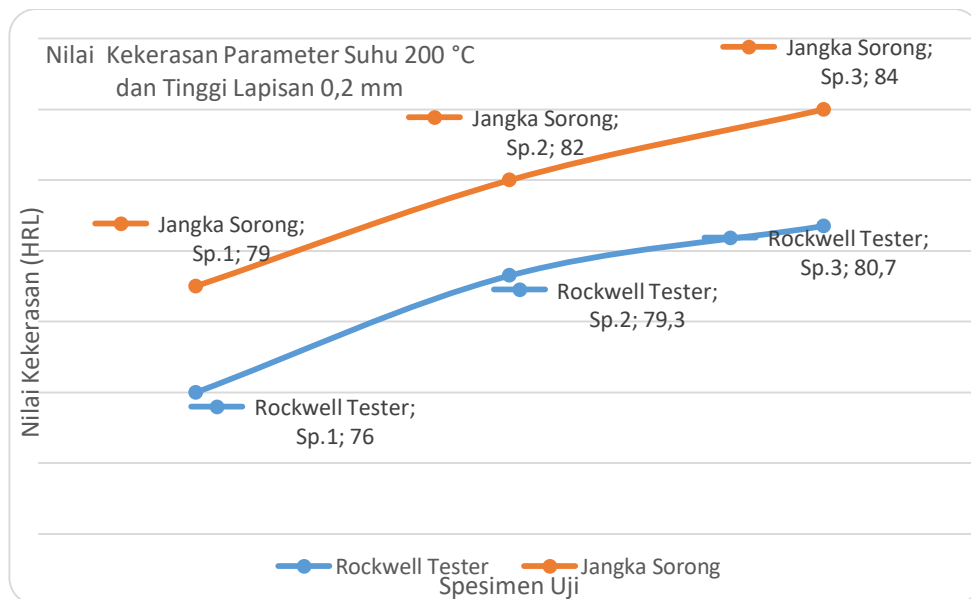
Gambar 3. Pengukuran Dengan Rockwell Tester



Gambar 4. Pengukuran Dengan Jangka Sorong Digital

Tabel 5. Hasil Pengujian Spesimen Suhu 200°C dan Tinggi Lapisan 0,2mm

Spesimen	Titik Uji	Rockwell Tester		Jangka Sorong		
		Nilai Kekerasan (HRL)	Rata-rata Nilai Kekerasan (HRL)	Hasil Ukur Kedalaman Indentasi (mm)	Nilai Kekerasan <small>HRL = 130 - (h/0,002)</small>	Rata-rata Nilai Kekerasan (HRL)
Sp.1	1	71	76,0	0,11	75	79
	2	79		0,10	80	
	3	74		0,10	80	
	4	82		0,09	85	
	5	74		0,11	75	
Sp.2	1	77,5	79,3	0,10	80	82
	2	72		0,11	75	
	3	78		0,10	80	
	4	82		0,09	85	
	5	87		0,08	90	
Sp.3	1	79	80,7	0,10	80	84
	2	83		0,09	85	
	3	82		0,08	90	
	4	79,5		0,09	85	
	5	80		0,10	80	



Grafik1 Hasil Pengujian Spesimen Suhu 200°C dan Tinggi Lapisan 0,2 mm

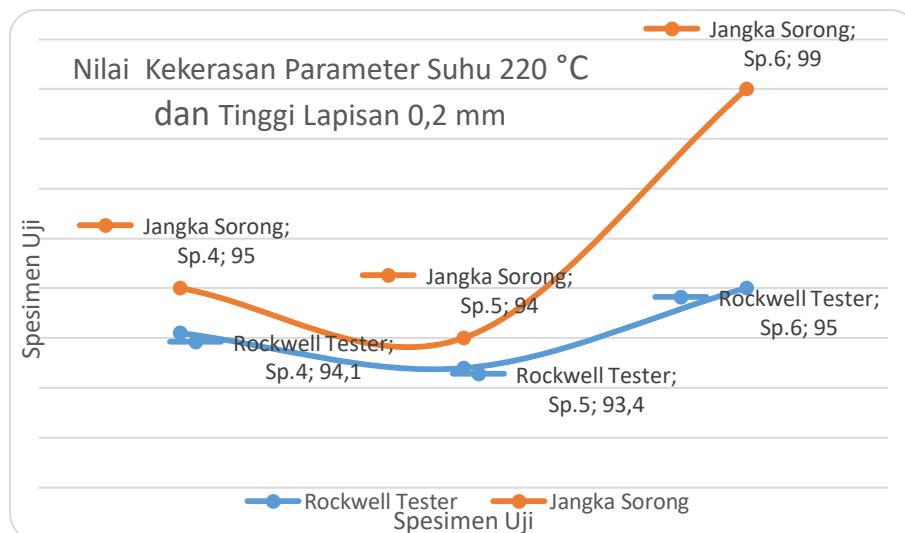
Hasil pengujian pada spesimen uji dengan parameter cetak suhu 200°C dan tinggi lapisan 0,2 mm didapatkan hasil yaitu :

- Masing-masing titik pengujian pada setiap specimen terdapat perbedaan nilai kekerasan dengan rentang nilai antara 71 HRL sampai dengan 87 HRL untuk pengujian menggunakan alat uji rockwell dan rentang nilai antara 75 HRL sampai dengan 90 HRL hasil dari pengukuran kedalaman indentasi menggunakan jangka sorong.
- Nilai rata-rata kekerasan hasil pengujian baik menggunakan alat uji rockwell

maupun jangka sorong secara berurutan terendah dari spesimen Sp.1 kemudian Sp.2 dan tertinggi pada Sp.3

Tabel 6. Hasil Pengujian Spesimen Suhu 220°C dan Tinggi Lapisan 0,2mm

Spesimen	Titik Uji	Rockwell Tester		Jangka Sorong		
		Nilai Kekerasan (HRL)	Rata-rata Nilai Kekerasan (HRL)	Hasil Ukur Kedalaman Indentasi (mm)	Nilai Kekerasan <small>HRL = 130 - (h/0,002)</small>	Rata-rata Nilai Kekerasan (HRL)
Sp.4	1	95	94,1	0,07	95	95
	2	95		0,07	95	
	3	92		0,08	90	
	4	93		0,07	95	
	5	95,5		0,06	100	
Sp.5	1	95,5	93,4	0,07	95	94
	2	99		0,06	100	
	3	90		0,08	90	
	4	92,5		0,07	95	
	5	90		0,08	90	
Sp.6	1	98	95,0	0,05	105	99
	2	91		0,07	95	
	3	92		0,07	95	
	4	93		0,07	95	
	5	101		0,05	105	



Grafik 4.2 Hasil Pengujian Spesimen Suhu 220°C dan Tinggi Lapisan 0,2 mm

Hasil pengujian pada spesimen uji dengan parameter cetak suhu 220°C dan tinggi lapisan 0,2 mm didapat hasil yaitu :

- Masing-masing titik pengujian pada setiap specimen terdapat perbedaan nilai kekerasan dengan rentang nilai antara 91 HRL sampai dengan 101 HRL untuk pengujian menggunakan alat uji rockwell dan rentang nilai antara 90 HRL sampai dengan 105 HRL hasil dari pengukuran kedalaman indentasi menggunakan jangka sorong.
- Hasil rata-rata dari pengujian setiap specimen baik menggunakan alat uji rockwell dan jangka sorong secara urut terendah pada spesimen Sp.5 kemudian Sp.4 dan tertinggi pada spesimen Sp.6

*ANOVA Dua Arah*

Nilai yang telah didapatkan dari hasil pengujian selanjutnya di analisis menggunakan ANOVA dua arah, sebagai berikut :

## A. Analisa Hasil Uji Rockwell Tester

- General Linear Model : Nilai Kekerasan versus Tinggi Lapisan; Suhu

Factor Information		
Factor	Type	Levels Values
Tinggi Lapisan	Fixed	2 0,1; 0,2
Suhu	Fixed	2 200; 220

Tabel 7 Desain Uji Anova Two Way

Suhu	Tinggi Lapisan	0,1			0,2		
	200	98	99,4	97,8	76	79,3	80,7
220	103,8	104,6	105,2	94,1	93,4	95	

Dengan diketahui :

## a. Rumusan hipotesis :

- $H_{0S}$  = Suhu tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan
- $H_{1S}$  = Suhu berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan
- $H_{0L}$  = Nilai kekerasan dengan tinggi lapisan 0,1 dan 0,2 sama baiknya
- $H_{1L}$  = Nilai kekerasan dengan tinggi lapisan 0,1 dan 0,2 tidak sama baiknya
- $H_{0SL}$  = Tidak terdapat interaksi antara suhu dan tinggi lapisan terhadap nilai kekerasan
- $H_{1SL}$  = Terdapat interaksi antara suhu dan tinggi lapisan terhadap nilai kekerasan

## b. Taraf signifikansi : 5%

Maka dengan menggunakan program minitab 19 didapatkan hasil sebagai berikut :

Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Tinggi Lapisan	1	679,51	679,508	352,08	0,000	
Suhu	1	351,00	351,001	181,87	0,000	
Tinggi Lapisan*Suhu	1	65,80	65,801	34,09	0,000	
Error	8	15,44	1,930			
Total	11	1111,75				

Dari hasil pengujian tersebut dapat di ambil keputusan uji :

- Karena P-Value (Tinggi Lapisan) = 0,000 <  $\alpha$  (0,05), maka  $H_{0L}$  ditolak
- Karena P-Value (Suhu) = 0,000 <  $\alpha$  (0,05), maka  $H_{0S}$  ditolak



- Karena P-Value (Interaksi) = 0,000 <  $\alpha$  (0,05), maka  $H_{0SL}$  ditolak

Kesimpulan

- Nilai kekerasan dengan tinggi lapisan 0,1 dan 0,2 tidak sama baiknya
- Suhu berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan
- Terdapat interaksi antara tinggi lapisan dan suhu terhadap nilai kekerasan

B. Analisa Hasil Uji Pengukuran Kedalaman Indentasi

- General Linear Model : Nilai Kekerasan versus Tinggi Lapisan; Suhu

Factor Information		
Factor	Type	Levels Values
Tinggi Lapisan	Fixed	2 0,1; 0,2
Suhu	Fixed	2 200; 220

Tabel 8 Desain Uji Anova Two Way

Suhu \ Tinggi Lapisan	0,1			0,2		
	200	99	100	99	79	82
220	105	108	109	95	94	99

Dengan diketahui :

a. Rumusan hipotesis :

- $H_{0S}$  = Suhu tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan
- $H_{1S}$  = Suhu berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kekerasan
- $H_{0L}$  = Nilai kekerasan dengan tinggi lapisan 0,1 dan 0,2 sama baiknya
- $H_{1L}$  = Nilai kekerasan dengan tinggi lapisan 0,1 dan 0,2 tidak sama baiknya
- $H_{0SL}$  = Tidak terdapat interaksi antara suhu dan tinggi lapisan terhadap nilai kekerasan
- $H_{1SL}$  = Terdapat interaksi antara suhu dan tinggi lapisan terhadap nilai kekerasan

b. Taraf signifikansi : 5%

Maka dengan menggunakan program minitab 19 didapatkan hasil sebagai berikut :

Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Tinggi Lapisan	1	630,75	630,750	140,17	0,000	
Suhu	1	374,08	374,083	83,13	0,000	
Tinggi Lapisan*Suhu	1	30,08	30,083	6,69	0,032	
Error	8	36,00	4,500			
Total	11	1070,92				

Dari hasil pengujian tersebut dapat di ambil keputusan uji :

- Karena P-Value (Tinggi Lapisan) = 0,000 <  $\alpha$  (0,05), maka  $H_{0L}$  ditolak
- Karena P-Value (Suhu) = 0,000 <  $\alpha$  (0,05), maka  $H_{0S}$  ditolak
- Karena P-Value (Interaksi) = 0,032 <  $\alpha$  (0,05), maka  $H_{0SL}$  ditolak

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data dan pembahasan mengenai pengaruh parameter cetak atas variasi suhu 200°C dan 220°C dengan tinggi lapisan 0,1 dan 0,2 mm hasil cetak dari prototype printer 3D ini maka dapat disimpulkan bahwa :

Prototype printer 3D ini dapat berfungsi dengan baik dalam mencetak spesimen uji dan benda kerja sesuai dengan parameter yang sudah ditentukan. Nilai kekerasan terbaik ada pada parameter cetak suhu 220°C dengan tinggi lapisan 0,1 mm dengan nilai rata-rata sebesar 105,2 HRL untuk pengujian dengan alat uji rockwell dan 109 HRL .

Nilai kekerasan terendah ada pada parameter cetak suhu 200°C dengan tinggi lapisan 0,2 mm dengan nilai rata-rata sebesar 76 HRL untuk pengujian dengan alat uji rockwell dan 79 HRL hasil perhitungan atas pengukuran kedalaman indentasi (Sp.1). Nilai standar deviasi tertinggi ada pada parameter suhu 200°C dengan tinggi lapisan 0,1 mm yaitu sebesar 4,69 HRL hasil uji rockwell tester dan 5,63 HRL hasil pengukuran kedalaman indentasi.

Nilai standar deviasi terendah ada pada parameter suhu 220°C dengan tinggi lapisan 0,1 mm yaitu sebesar 2,10 HRL hasil uji rockwell tester dan 4,17 HRL hasil pengukuran kedalaman indentasi.

Dengan taraf signifikansi sebesar 5%, hasil analisis menggunakan ANOVA dua arah didapatkan bahwa parameter suhu dan tinggi lapisan cetak memberikan pengaruh yang signifikan. Dari hasil penelitian ini maka rodagigi akan dicetak pada parameter suhu 220°C dan tinggi lapisan 0,1mm

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sumantri, Dede. 2012. Peningkatan Kinerja Mesin Rapid Prototyping Berbasis Fused Desposition Modelling. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [2] Gandjar Kiswanto, dkk, Pengembangan Mesin Rapid Prototyping Berbasis Fdm (Fused Deposition Modeling) Untuk Produk Berkontur Dan Prismatic, 2010, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9 Palembang.
- [3] Tseng, A.A. 2000. "Apparatus and methods for freeform fabrication of three dimensional object". US Patent No. 6030199. February 29.
- [4] Sahar Zhiani Hervan dkk, 2018."Friction And Hardness Characteristics Of Fdm-Printed Plastic Materials". 21st International Research/Expert Conference. 22 September 2018.
- [5] WirdaNovarika AK dkk, 2019."Pengaruh Parameter Proses Rapid Prototyping DenganTecnologi Stereolithography TerhadapKekerasanSpesimen Uji". Jurnal Teknik Industri, Universitas Islam Sumatera Utara. 02 Oktober 2019.
- [6] İsmail Böğrekcı dkk, 2019."The Effect Of The Infill Type And Density On Hardness Of 3D Printed Parts".
- [7] Dr. Tahseen Fadhil Abbas dkk, 2018."Influence of Layer Thickness on Impact Property of 3D-Printed PLA".International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 02 Februari 2018.
- [8] Tomislav Galeta, PhD ME dkk, 2007."Effects Of Processing Parameters On Hardness Of 3D Printed Parts". 11th International Research/Expert Conference. 09 September 2007.
- [9] Fauzen ST.MT, 2017. "FinalPedomanPenulisanSkripsiProdi Teknik MesinUnmuhp 2017. Universitas Muhammadiyah Pontianak.