

PENGARUH TEMPERATUR NOZZLE DAN BASE PLATE PADA MESIN LEAPFROG CREATR 3D PRINTER TERHADAP DENSITY DAN SURFACE ROUGHNESS MATERIAL ABS

Benny Haddli Irawan^{1*}, Rahman Hakim¹, Hanifah Widiastuti¹, Domi Kamsyah¹, Bambang Sahputra¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

*Corresponding author: benny@polibatam.ac.id

Article history

Received:
21 Juni 2019
Accepted:
25 Juni 2019
Published:
29 Juni 2019

Copyright © 2019
Jurnal Teknologi
dan Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Printer 3D adalah sebuah *printer* yang menampilkan data dalam bentuk cetakan. Dengan teknologi dari *3D printing*, sebuah perusahaan dapat membuat sebuah *prototype* tanpa harus menghabiskan bahan baku ataupun material. Dalam penelitian ini dikaji tentang pengaruh parameter temperature *nozzle* dan *base plate* pada material ABS terhadap hasil kekasaran permukaan serta *density* yang paling baik. Pada proses penelitian ini menggunakan bahan *Acrylonitrile Butadine Stryne* yang dibentuk menjadi *specimen* dengan dimensi panjang 3cm, lebar 3cm dan tinggi 1cm. Penyetingan parameter temperatur *nozzle* yang digunakan yaitu 240°C, 250°C and 260°C (*single nozzle* dan *dual nozzle*), temperatur *base plate* 30°C, dan 100°C serta *adhesive type* dengan lem atau tanpa lem. Dari penelitian ini akan didapat data pengaruh temperatur *nozzle*, temperatur *base plate*, pengaruh lem dan nilai *density* yang paling baik. Dari penelitian ini temperatur terbaik untuk mencetak material *specimen* dengan kekasaran permukaan yang paling rendah diperoleh sebesar 6,15 µm yang setara dengan N9 dengan parameter temperatur *nozzle* 260°C dan *base plate* 100°C menggunakan bahan perekat (*glue*) dengan metode *single nozzle*. Adapun parameter yang digunakan untuk memperoleh *density* yang paling mendekati nilai spesifikasi *density* material ABS yaitu pada temperatur *nozzle* 240°C sedangkan *base plate* 100°C tanpa menggunakan bahan perekat (*glue*). Pada setting semua temperatur *nozzle* baik *single nozzle* ataupun *dual nozzle* dengan temperatur *base plate* 30°C tanpa menggunakan lem semua hasilnya *reject*.

Kata Kunci: 3D print, ABS, *Density*

Abstract

3D printer is a printer that displays data in printed form of mold. With technology from *3D printing*, a company can create a prototype without having to spend raw materials or material. In this studied, we examined the effect of temperature *nozzle* and *base plate* parameters on ABS material on the results of surface roughness and the best density. In this research process using *Acrylonitrile Butadine Stryne* material which was formed into specimens with dimensions of length 3cm x width 3cm x height 1cm. Using three parameters *nozzle* setting temperature that is 240°C, 250°C and 260°C (*single nozzle* and *dual nozzle*), *base plate* temperature 30°C, and 100°C and *adhesive type* with glue or no glue. From this research will be obtained data on the effect of *nozzle* temperature, *base plate* temperature, the effect of glue and the best density value. From this research the best temperature for printing specimen material with the lowest surface roughness was 6.15 µm which is equivalent to N9 with a *nozzle* temperature parameter of 260°C and a *base plate* 100°C using glue and the *single nozzle* method. The parameters used to obtain the density closest to the ABS material density specification value are at the *nozzle* temperature 240°C while the *base plate* is 100°C and without glue. In all temperature settings *nozzle* is either a *single nozzle* or *dual nozzle* with a *base plate* temperature of 30° c without using glue all the results are rejected.

Keywords: 3D print, ABS, *Density*

1.0 PENDAHULUAN

Pada tahun 1984, Charles W. Hull memiliki hak paten dengan teknologi *stereolithography*. Teknologi ini digunakan untuk membuat objek 3D seperti *prototype* [1]. Salah satu pemanfaatan teknologi tersebut diterapkan pada printer 3D (perhatikan gambar 1). Dilihat dari aspek biaya, untuk memperoleh printer 3D memerlukan biaya yang mahal, lain halnya jika dibandingkan dengan printer tradisional yaitu printer 2D yang biasa digunakan untuk mengeprint berkas dapat diperoleh dengan harga yang terjangkau mulai dari ratusan ribu rupiah. Oleh karena harga yang sangat mahal, maka dilakukan penelitian untuk membuat printer 3D dengan harga yang jauh lebih murah [2].



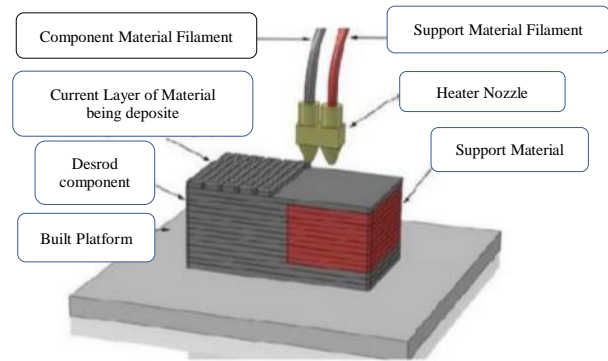
Gambar 1. Mesin Printer 3D merk leap frog

Printer 3D memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Mengurangi *lead time* dalam memproduksi komponen *prototype*.
2. Meningkatkan kemampuan untuk memvisualisasikan bagian geometri karena keberadaan fisiknya.
3. Mendeteksi dini dan pengurangan kesalahan *design*.
4. Menguntungkan dalam pengurangan limbah dan biaya design yang mahal.
5. Melalui proses *layer manufacturing*, sehingga produk yang dibuat tidak dibatasi oleh tingkat kompleksitas geometri, dimana kondisi itu tidak dapat dikerjakan dengan proses-proses konvensional (pemesinan, *casting*).

Fused Deposition Modeling (FDM) adalah sebuah teknologi *additive manufacture* yang biasa digunakan untuk pemodelan, *prototyping*, dan produksi. Teknologi ini adalah salah satu teknik yang digunakan untuk printer 3D. Untuk melakukan proses pencetakan, sebuah filamen termoplastik di ekstrusikan melalui *feeder* ke *heater nozzle*. Selanjutnya material yang dilelehkan menuju ke *nozzle* [3]. Proses ini dapat dilihat pada gambar 2. Perlu diketahui bahwa temperatur pada *nozzle* berada pada temperatur 240°C–260°C (spesifikasi pada mesin printer 3D), padahal material yang digunakan sebagai filamen adalah plastik berjenis *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)* yang memiliki titik leleh pada temperatur 105°C. ABS adalah polimer yang termasuk golongan termoplastik sehingga memiliki sifat material yang mudah meleleh jika dipanaskan hingga titik leleh serta dapat dibentuk kembali. Ketika ABS cair berada di *nozzle*, lelehan plastik tersebut ditempatkan pada bagian

atas permukaan meja hingga terbentuk lapisan-lapisan sesuai dengan potongan geometri. Selanjutnya plastik yang keluar dari *nozzle* akan mengeras.



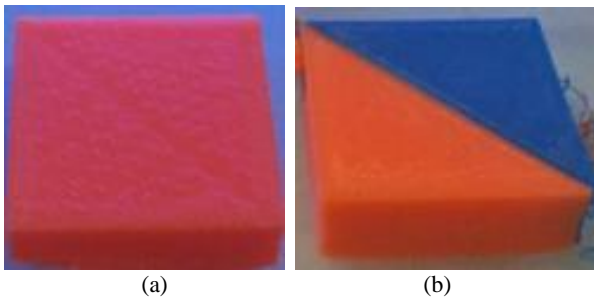
Gambar 2. Bagian-bagian dalam proses printer 3D [4]

Berdasarkan faktor-faktor yang telah dijelaskan maka penelitian ditujukan dengan maksud sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh temperature pada *nozzle* dan *base plate* serta penambahan material perekat (*adhesive*) terhadap produk printer 3D.
2. Mendapatkan temperature *nozzle* dan *base plate* yang menghasilkan produk printer 3D yang paling mendekati nilai *density* material ABS.
3. Mendapatkan temperature *nozzle* dan *base plate* yang menghasilkan produk printer 3D dengan kekasaran permukaan (*surface roughness*) bernilai kecil.

Adapun batasan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut:

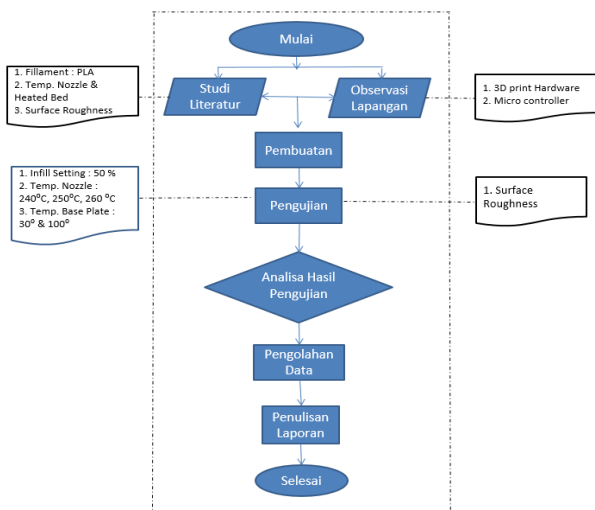
1. Menggunakan mesin 3D printer tipe *extrusion dual nozzle* dan *heated table* merek Leap frog dengan teknologi FDM (*Fused Deposition Modeling*) [5]
2. Material filamen yang digunakan adalah ABS berdiameter 1.75 mm dan massa jenis (ρ) $1,04 \pm 0,2 \text{ g/cm}^3$ berdimensi panjang 3cm, lebar 3cm dan tinggi 1cm [6]
3. Suhu dan kelembapan udara pada ruangan adalah 25°C - 27°C dan 40-50 %.
4. *Infill setting* pada penelitian ini adalah 50 %.
5. *Nozzle* yang digunakan dalam membuat material *specimen* menggunakan tipe tunggal (*single*) *nozzle* dan multi (*double*) *nozzle*. Contoh material *specimen* dapat dilihat pada gambar 3.
6. Temperatur *Nozzle* pada penelitian ini yaitu 240 °C, 250 °C dan 260 °C.
7. Temperatur base plate pada penelitian ini yaitu 30 °C dan 100 °C.



Gambar 3. Contoh material *Specimen* uji: (a) *single nozzle*, (b) *dual nozzle*

2.0 METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian pada gambar 4, proses yang dilakukan pada penelitian dimulai dengan mengumpulkan data awal sebagai studi literatur. Studi literatur bertujuan untuk mengenal masalah yang dihadapi, serta untuk menyusun rencana kerja yang akan dilakukan. Pada studi awal dilakukan observasi lapangan terhadap faktor yang berhubungan dengan penelitian serta akan dilakukan, juga mengambil data-data penelitian yang sebelumnya untuk dijadikan sebagai pembandingan terhadap hasil pengujian yang akan di analisa.

Dalam pelaksanaannya, pengerjaan penelitian dilakukan sebagai berikut :

1. Membuat *design* dengan *solidwork* kemudian *save as* dengan format (.stl).
2. *Connect printer* dengan laptop/pc.
3. *Load file* (.stl) di aplikasi *reptier host*.
4. *Print drawing*.
5. Pengambilan data menggunakan alat ukur *density*.
6. Pengambilan data menggunakan *surface roughness*.

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu set komputer/laptop;
2. Kapi;

3. Gunting;
4. *Filament ABS*;
5. Alat penguji kekasaran (*Surface Roughness*); dan
6. Mesin printer 3D (*Leap Frog*).

3.0 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

3.1 Massa Jenis (*Density*)

Density atau massa jenis merupakan perbandingan antara dua besaran pokok, yaitu massa (*m*) dan volume (*V*). Besarnya densitas atau massa jenis tergantung pada jumlah benda (ekstensif).

Setelah material *specimen* dibuat maka dilakukan pengambilan data *density* dengan cara mengukur volume serta menimbang massa pada material *specimen*. Untuk memperoleh nilai volume dilakukan dengan cara mengukur panjang (*p*), lebar (*l*) dan tebal (*t*) kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai massa (*m*) dari *specimen*, dilakukan penimbangan terhadap alat ukur yang dapat dilihat pada gambar 5.

$$V = p \times l \times t \quad (1)$$



Merk : Kern
 Maximum load : 220g
 Minimum load : 10 mg
 Precision : 0.0001g

Gambar 5. Alat ukur massa

Setelah diperoleh massa (*m*) dan volume (*V*) pada material *specimen*, maka dapat dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai densitas (ρ) dengan menggunakan persamaan 2.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Perhitungan nilai *density* bertujuan untuk mengetahui *density* pada setiap material *specimen* printer 3D, karena salah satu kelemahan pada printer 3D yaitu kurangnya tingkat keterulangan (*precision*) dan ketelitian (*accuracy*) dalam membuat material *specimen*. Hasil perhitungan densitas yang dilakukan pada semua *specimen* dapat dilihat pada tabel 1. Karena kerapatan massa pada material *specimen* hanya separuh sebab pengaturan *infill* yang digunakan hanya 50%, maka untuk memperoleh nilai *density* yang tepat dilakukan konversi nilai yang diperoleh pada tabel 1 dikalikan sebanyak 2 kali. Hasil konversi nilai tersebut disajikan pada tabel 2.

Nilai-nilai *density* yang diperoleh dari setiap *speciment* pada tabel 1 dan 2 disebabkan karena faktor kecepatan *nozzle* pada saat mencetak material spesimen dan juga suhu yang diberikan pada spesimen agar meleleh.

Tabel 1. Nilai *density* bahan uji (*infill 50%*)

Setting Parameter			Density (gr/cm ³)			
Infill Setting (50%)	Temp. Nozzle	Temp. Base plate	Single Nozzle		Dual Nozzle	
			Glue	No glue	Glue	No glue
240°C	30°C	100°C	0,700078	Reject	0,7	Reject
		100°C	0,688344	0,68697	0,731189	Reject
250°C	30°C	100°C	0,712556	Reject	0,745689	Reject
		100°C	0,712278	0,711456	0,731911	0,737111
30°C	100°C	100°C	0,7185	Reject	0,738922	Reject
		100°C	0,711	0,708167	0,736889	0,743978

Tabel 2. Nilai *density* bahan uji (*infill 100%*)

Setting Parameter			Density (gr/cm ³)			
Infill Setting (100%)	Temp. Nozzle	Temp. Base plate	Single Nozzle		Dual Nozzle	
			Glue	No glue	Glue	No glue
240°C	30°C	100°C	1,400156	Reject	1,400	Reject
		100°C	1,3766	1,37394	1,462378	Reject
250°C	30°C	100°C	1,425112	Reject	1,491378	Reject
		100°C	1,424556	1,422912	1,463822	1,474220
260°C	30°C	100°C	1,437	Reject	1,477844	Reject
		100°C	1,422	1,416334	1,473778	1,487956

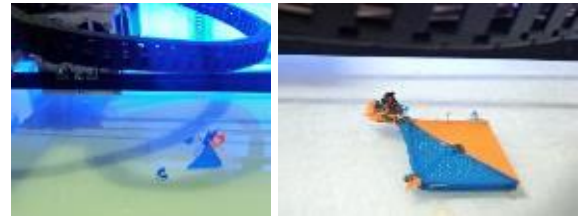
Berdasarkan pada tabel 1 dan 2, jika melihat pada jenis *nozzle* yang digunakan (*single* dan *dual*) dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. *Single Nozzle*

Pada material *specimen single nozzle*, nilai *density* terkecil yang didapat yaitu 1,3766 gr/cm³. Adapun parameter temperatur yang digunakan untuk memperoleh nilai *density* terkecil diperoleh dengan cara mengatur temperatur *nozzle* pada suhu 240°C serta mengatur temperatur *base plate* pada suhu 100°C tanpa menggunakan *glue*. Sedangkan nilai *density* terbesar yaitu 1,437 gr/cm³ diperoleh dengan mengatur temperatur *nozzle* pada suhu 260°C serta mengatur temperatur *base plate* pada suhu 30°C dengan menggunakan *glue*.

2. *Dual Nozzle*

Pada material *specimen dual nozzle*, nilai *density* terkecil yang diperoleh yaitu 1,400 gr/cm³. Adapun parameter temperatur yang digunakan untuk memperoleh nilai *density* terkecil yaitu dengan mengatur temperatur *nozzle* pada suhu 240°C serta mengatur temperatur *base plate* pada suhu 30°C dan menggunakan *glue*. Sedangkan nilai *density* terbesar yaitu 1,491 gr/cm³ diperoleh dengan mengatur temperatur *nozzle* pada suhu 250°C serta mengatur temperatur *base plate* pada suhu 30°C dengan menggunakan *glue*.



Gambar 6. Contoh *specimen reject*

Pada gambar 6 menunjukkan *specimen* atau bahan uji yang ditolak (*reject*). Hal ini terjadi karena *filament* tidak menempel pada *base plate*. Faktor penyebab kondisi pada *specimen* menjadi *reject* dikarenakan *base plate* tidak di berikan perekat (*no glue*) serta temperatur *base plate* yang kurang panas.

3.2 *Kehalusan Permukaan (Surface Roughness)*

a. *Proses pengambilan data*

Pada penelitian ini untuk mengukur tingkat kehalusan permukaan material *specimen* menggunakan alat *surface roughness* [7]. Alat ini dapat dilihat pada gambar 7 memiliki fungsi untuk mengukur kekasaran dari suatu permukaan dengan standar atau properties pengukuran Ra, Rz, Rq dan Rmax dengan kecermatan (*resolution*) sebesar 0.001µm. Dalam penelitian ini mencari nilai kekasaran Ra yang paling kecil dari material *specimen*. Standar kekasaran dapat dilihat pada tabel 3 dengan aturan semakin besar harga kekasaran (Ra) maka permukaan yang dicek semakin kasar, begitu juga sebaliknya semakin kecil angka *Surface Roughness Measurement* menguji dengan menggunakan *probe* sebagai sensor untuk memeriksa profil dari permukaan material *specimen* uji.

Tabel 3. Standar Angka dan Harga kekasaran permukaan

Angka Kekasaran	Harga Kekasaran Ra (µm)
N12	50
N11	25
N10	12.5
N9	6.3
N8	3.2
N7	1.6
N6	0.8
N5	0.4
N4	0.2
N3	0.1
N2	0.05
N1	0.025



Gambar 7. Alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness*)

b. Metode Eksperimen pada Surface Roughness

Pengukuran pada *surface roughness* dapat dilakukan dengan memposisikan arah permukaan profil kekasaran material *specimen* baik secara sejajar (*parallel/ 0°*), diagonal (*45°*) maupun tegak lurus (*perpendicular/ 90°*) terhadap *probe* alat ukur *surface roughness* (perhatikan gambar 8).

Tabel 4. Hasil Tes *Surface roughness* pada *single nozzle*

Setting Parameter			Surface Roughness (µm)			
Infill Setting (50%)	Temp. Nozzle	Temp. Base plate	Single Nozzle with Glue			
			X1	X2	X3	\bar{X}
	240°C	30°C	5.908	6.990	7.165	6.688
		100°C	6.457	7.365	6.816	6.879
	250°C	30°C	8.038	8.571	7.250	7.953
		100°C	8.363	7.976	7.174	7.838
	260°C	30°C	8.205	6.408	6.794	7.136
100°C		5.689	5.730	7.032	6.150	
Infill Setting (50%)	Temp. Nozzle	Temp. Base plate	Single Nozzle without Glue			
			X1	X2	X3	\bar{X}
	240°C	30°C	Reject	Reject	Reject	Reject
		100°C	8.505	6.729	7.726	7.653
	250°C	30°C	Reject	Reject	Reject	Reject
		100°C	7.389	7.384	7.689	7.637
	260°C	30°C	Reject	Reject	Reject	Reject
100°C		8.063	8.227	6.779	7.690	

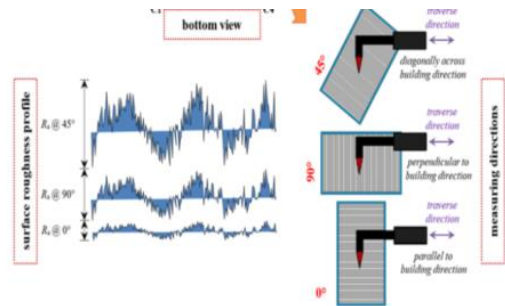
Tabel 5. Hasil Tes *Surface roughness* pada *dual nozzle*

Setting Parameter			Surface Roughness (µm)			
Infill Setting (50%)	Temp. Nozzle	Temp. Base plate	Dual Nozzle with Glue			
			X1	X2	X3	\bar{X}
	240°C	30°C	8,677	8,745	7,649	8,357
		100°C	16,483	11,779	13,36	13,874
	250°C	30°C	11,882	10,043	9,763	10,563
		100°C	Over range	Over range	Over range	Over range
	260°C	30°C	6,026	7,076	5,993	6,365
100°C		14,708	10,637	11,155	12,167	
Infill Setting (50%)	Temp. Nozzle	Temp. Base plate	Dual Nozzle without Glue			
			X1	X2	X3	\bar{X}
	240°C	30°C	Reject	Reject	Reject	Reject
		100°C	Reject	Reject	Reject	Reject
	250°C	30°C	Reject	Reject	Reject	Reject
		100°C	10,755	11,434	10,964	11,051
	260°C	30°C	Reject	Reject	Reject	Reject
100°C		Over range	Over range	Over range	Over range	

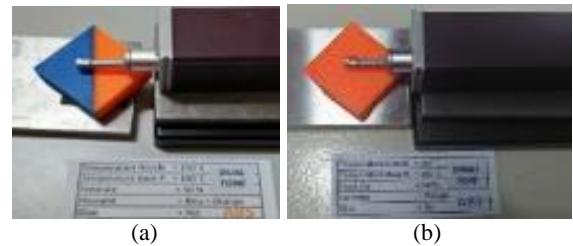
Pengambilan data untuk *surface roughness* dilakukan dengan memposisikan arah permukaan profil kekasaran material *specimen* terhadap *probe* alat ukur *surface roughness* secara tegak lurus (*90°*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 meskipun terlihat bahwa posisi material *speciment* diagonal (*45°*) akan tetapi arah serat profil kekasaran terhadap *probe* alat ukur

sebenarnya saling tegak lurus (*90°*). Pada gambar 10 menunjukkan bahwa pengujian *surface roughness* pada material *specimen* dilakukan pada tiga titik. Setelah itu hasilnya akan diolah dengan menggunakan persamaan 3 dimana \bar{X} adalah nilai *X* rata-rata dari data pertama (*X1*), data kedua (*X2*) dan data ketiga (*X3*).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \tag{3}$$

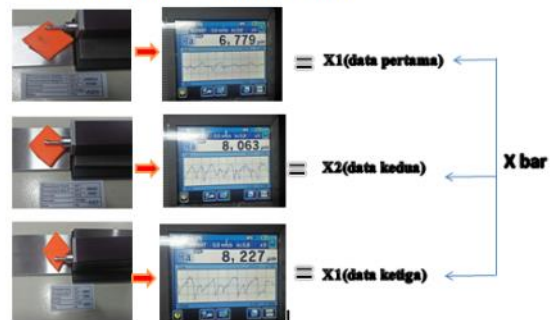


Gambar 8. Proses pengambilan data (*surface roughness*)



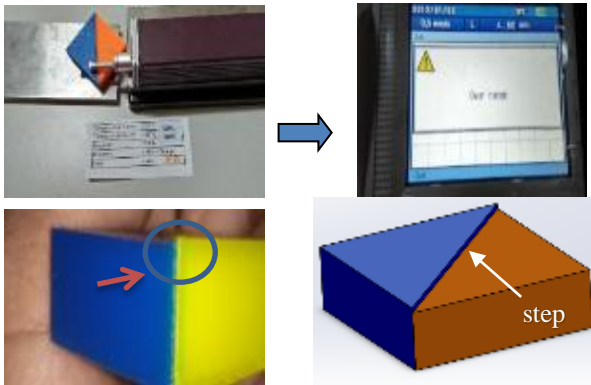
Gambar 9. Proses pengambilan data (*surface roughness*): (a) 90° (*dual nozzle*) (b) 90° (*single nozzle*)

EXPERIMEN METHOD SURFAE ROUGHNESS



Gambar 10. Proses pengambilan data kekasaran permukaan (*surface roughness*)

Pada saat pengambilan data kekasaran permukaan seperti yang terjadi pada gambar 10, data yang didapat selain angka maupun tidak dilakukan pengecekan akibat *reject* yang terjadi akibat *filament* tidak menempel pada *base plate*, terdapat juga *over range* yang diperoleh dari material *specimen* printer 3D yang dihasilkan dengan cara *dual nozzle* seperti data pada tabel 5. Hasil material *specimen* yang *over range* dapat dilihat pada gambar 11. *Over range* terjadi karena perbedaan tinggi antara *filament* yang dihasilkan oleh *single nozzle* dan *dual nozzle* tidak membuat material *specimen* berada pada kondisi ketinggian yang sama meskipun pengaturan ketinggian pada kedua jenis *nozzle* telah di atur sama.



Gambar 11. Over range

Berdasarkan pada tabel 4 dan 5, jika melihat pada jenis *nozzle* yang digunakan (*single* dan *dual*) dapat disimpulkan bahwa hasil dari pengukuran kekasaran permukaan (*surface roughness*) adalah sebagai berikut:

1. Single Nozzle

Pada material *specimen single nozzle*, nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) terkecil yang didapat yaitu 6,150 μm yang setara dengan angka kekasaran N9. Adapun parameter temperatur yang digunakan untuk memperoleh nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) terkecil diperoleh dengan cara mengatur temperatur *nozzle* pada suhu 260°C serta mengatur temperatur *base plate* pada suhu 100°C dengan menggunakan *glue*. Sedangkan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) terbesar yang didapat yaitu 7,953 μm yang berada pada kisaran angka kekasaran N9. Adapun parameter temperatur yang digunakan untuk memperoleh nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) terbesar diperoleh dengan cara mengatur temperatur *nozzle* pada suhu 250°C serta mengatur temperatur *base plate* pada suhu 30°C dengan menggunakan *glue*.

2. Dual Nozzle

Pada material *specimen dual nozzle*, nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) terkecil yaitu 6,365 μm yang setara dengan angka kekasaran N9. Adapun parameter temperatur yang digunakan untuk memperoleh nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) terkecil yaitu dengan mengatur temperatur *nozzle* pada suhu 260°C serta mengatur temperatur *base plate* pada suhu 30°C dan menggunakan *glue*. Sedangkan nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) terbesar yang didapat yaitu 13,874 μm yang berada pada kisaran angka kekasaran N10. Adapun parameter temperatur yang digunakan untuk memperoleh nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*) terbesar diperoleh dengan cara mengatur temperatur *nozzle* pada suhu 240°C serta mengatur temperatur *base plate* pada suhu 100°C dengan menggunakan *glue*.

4.0 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat dibuat kesimpulan bahwa : 1) Temperatur *nozzle* dan *base plate*

serta bahan perekat (*glue*) yang digunakan maupun tanpa perekat mempengaruhi hasil material *specimen*. Hal ini dapat dilihat bahwa terdapat beberapa material *specimen* yang masuk kategori *reject* serta *over range*.

2) Temperatur *nozzle* dan *base plate* yang menghasilkan produk printer 3D yang paling mendekati nilai *density* material ABS yaitu pada temperatur *nozzle* suhu 240°C serta temperatur *base plate* pada suhu 100°C tanpa menggunakan *glue* menghasilkan nilai *density* 1,3766 gr/cm^3 . 3) Temperature *nozzle* dan *base plate* yang menghasilkan produk printer 3D dengan kekasaran permukaan (*surface roughness*) bernilai kecil dihasilkan pada kondisi temperatur *nozzle* suhu 260°C serta temperatur *base plate* pada suhu 100°C dengan menggunakan *glue* menghasilkan material *specimen* dengan kekasaran permukaan (*surface roughness*) 6,150 μm yang setara dengan angka kekasaran N9.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saxena, Abhishek, "A Comprehensive Study on 3D Printing Technology", U.P., India, 2016.
- [2] D. Sulayman, "Pengaruh Suhu Dari Heater Nozzle Terhadap Produk Printer 3D," thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2015.
- [3] Al soufi, S.Mohammad, "How Surface Roughness Performance of Printed Parts Manufactured by Desktop FDM 3D Printer with PLA+ is Influenced by Measuring Direction", Department of Mechanical Engineering, College of Engineering and Islamic Architecture, Umm Al-Qura University, Makkah, KSA., Saudi Arabia, Vol-5 No.5, 2017.
- [4] Shahi, Baljinder Singh, "Advanced Manufacturing Techniques(3D Printing)", BBSBEC Fatehgarh Sahib, 2016.
- [5] Alec, "Leapfrog 3D Printers unveils partnership with Ingram Micro and Materialise at CES," 3ders.org, 08-Jan-2015. [Online]. Available: <https://www.3ders.org/articles/20150108-leapfrog-3d-printers-unveils-partnership-with-ingram-micro-and-materialise-at-ces.html>. [Accessed: May-2018].
- [6] "3D Printer Filament Comparison," MatterHackers. [Online]. Available: <https://www.matterhackers.com/3d-printer-filament-compare>. [Accessed: 10-May-2018].
- [7] Elsayed, Abdurahman E, "How Surface Roughness Performance of Printed Parts Manufactured by Desktop FDM 3D Printer with PLA is influenced by Measuring Direction", Umm Al-Qura University, 2017