

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Analisis Pengaruh Parameter *Extrusion Width* dan *Nozzle Temperature* pada 3D Printing Material PVA Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi

Judul Naskah Publikasi: Analisis Pengaruh Parameter *Extrusion Width* dan *Nozzle Temperature* pada 3D Printing Material PVA Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi

Nama Mahasiswa: Dede Tohidin

NIM: 20140130034

Pembimbing 1: Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., PhD.

Pembimbing 2: Cahyo Budiyanoro, S.T., M.Sc.

Hal yang dimintakan persetujuan *:

- | | | | |
|---|--|--------------------------------|--------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia | <input checked="" type="checkbox"/> Naskah Publikasi | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

*beri tanda v di kotak yang sesuai


 Dede Tohidin

Tanggal 17 Desember 2018

Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui


 Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., PhD.

 Beri Paripurna Kamil, S.T., M.N., M.Eng., Sc., Ph.D.

Tanggal 20 Desember 2018

Tanggal 20 Desember 2018

Analisis Pengaruh Parameter *Extrusion Width* dan *Nozzle Temperature* Pada 3D Printing Material PVA Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi

Dede Tohidin^a, Aris Widyo Nugroho^b Cahyo Budiyanoro^c,

^a UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Kasihan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
+62895385439310
e-mail: Dedetohidin94@gmail.com

^b UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Kasihan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
+62274 387656
e-mail: ariswidyo.nugroho@umy.ac.id

Intisari

Additive manufacturing atau *3D printing* merupakan salah satu teknologi yang saat ini perkembangan cukup pesat dan banyak diaplikasikan sebagai teknologi *rapid prototyping*. Cara kerja teknologi ini adalah dengan memanaskan bahan berupa filament pada *nozzle* kemudian dicetak dengan metode penekanan lapis demi lapis. Filamen *Polyvinylalcohol* (PVA) merupakan salah satu jenis polimer yang saat ini sering digunakan dalam teknologi *3D printing*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh parameter proses optimal dan kombinasi level optimal parameter proses pada produk *3D printing* pada bahan PVA menggunakan metode Taguchi.

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen *orthogonal arrays* L4 (2^2) dimana terdapat empat percobaan dengan dua parameter proses yang digunakan yaitu *extrusion width* dan *nozzle temperature* serta dengan dua variasi level pada setiap parameter (0,3 mm, 0,4 mm, dan 180°C, 190°C). Respon yang digunakan pada penelitian ini meliputi akurasi dimensi (*w* dan *T*) dan kekuatan tarik, selanjutnya data hasil respon dianalisis menggunakan ANOVA.

Berdasarkan hasil respon akurasi dimensi parameter yang paling berpengaruh pada dimensi *W* yaitu *nozzle temperature*, dimensi *T* yaitu *extrusion width* dan untuk dimensi *L* yaitu *nozzle temperature*. Dan hasil analisis ANOVA menunjukkan parameter proses paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi didominasi oleh *extrusion width*, dan untuk respon kekuatan tarik dipengaruhi oleh parameter proses *extrusion width*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kombinasi level parameter proses optimal yang dihasilkan dari Metode Taguchi yaitu *nozzle temperature* 180°C dan *extrusion width* 0.4 mm menunjukkan hasil kekuatan tarik produk PVA dengan nilai tegangan tarik sebesar 7.611 MPa

Kata Kunci: *3D Printing*, PVA, Taguchi, Kekuatan Tarik, Akurasi Dimensi

1. PENDAHULUAN

Teknologi yang berkembang saat ini yaitu *3D printing* atau sering di sebut *Additive Manufacturing (AM)*. *3D printing* adalah proses manufaktur untuk membentuk

dari data digital menjadi objek 3 dimensi. Printer 3D membuat produk dengan menggabungkan material deposisi oleh lapisan (Menderes, 2017). 3D printing digunakan sebagai alat produksi atau sebagai *prototype* di banyak bidang karena memiliki kemampuan membuat produk dengan bentuk kompleks yang tidak bisa dibuat dengan teknologi fabrikasi konvensional dengan waktu yang relatif cepat.

Teknik AM memiliki beberapa metode yang dapat di gunakan, seperti *stereolithography* (SLA), *selective laser sintering* (SLS), *inkjet modeling* (IJM) *direct metal deposition* (DMD) dan *fused deposition modeling* (FDM) (Alhnan et al., 2016). Saat ini teknik AM yang banyak digunakan adalah *rapid prototyping* (RP) berbasis FDM, karena FDM telah menyumbang hampir setengah dari jumlah mesin yang ada di pasaran (Anithaa dkk, 2001). Printer 3D tipe FDM menggunakan polimer yang berbentuk filament sebagai tinta printer. Polimer dilelehkan dengan pemanasan kemudian diekstrusi dari *nozzel* sebagai tinta dan dilaminasi pada meja printer untuk menghasilkan objek 3D. Material filament polimer yang sering digunakan untuk produksi atau *prototype* pada saat ini adalah acrylonitrile butadiene styrene (ABS), *polycarbonate* (PC), *Polyvinyl alcohol* (PVA) *polystyrene*, *nylon*, *polylactic acid* (PLA), dan *polyurethane*.

Perkembangan terjadi pula pada software yang digunakan. Namun software tersebut penggunaannya masih terbatas secara DIY (do it yourself) dan pengaturan parameter untuk filament PVA masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh parameter terhadap kualitas dan kekuatan produk 3D printing dengan bahan filament PVA perlu dilakukan. Ada beberapa software yang bisa di gunakan pada proses 3D printing seperti Repetier-Host, Slic3r, dan Cura. Software tersebut termasuk ke dalam *3D printing tools* yang berfungsi untuk mempermudah proses *slicing* pada desain *computer aided design* (CAD) yang akan di cetak FDM. Adalah salah satu teknik yang digunakan pada teknologi 3d printing, mekanisme teknologi FDM adalah dengan melelehkan bahan filamen pada pemanasan *nozel* kemudian diekstrusi untuk memproduksi lapisan demi lapisan (*layer by layer*). (Wu, 2017)

PVA adalah polimer yang lunak dan dapat terurai yang sangat sensitif terhadap kelembaban. Ketika terkena air, PVA akan benar-benar larut yang membuatnya menjadi bahan struktur pendukung yang sangat berguna untuk pencetakan 3D.

Kutiig, (2017) meneliti tentang pembuatan *prototype maxillofacial* dengan menggunakan mesin 3D printing dengan bahan yang digunakan PVA. Variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu arah printing X,Y, dan Z dengan menggunakan 5 sampel replikasi pada setiap variasinya. Parameter *default* yang digunakan dalam proses pembuatan yaitu *print temperature* 215°C, *bed temperature* 50°C, *layer thickness* 0,1 mm, *nozzle diameter* 0,35 mm, *print speed* 4 mm/s, dan *density* 50%. Hasil dari penelitian ini variasi dengan modulus kelenturan tertinggi terdapat pada variasi arah print X dengan nilai kelenturan sebesar 1879,77 N/mm², selanjutnya variasi arah Y dengan nilai kelenturan 1702.48 N/mm², dan nilai kelenturan terkecil terdapat pada variasi arah printing Z dengan nilai 701,32 N/mm².

Mahardika, (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter proses 3D printing terhadap kekuatan tarik dan respon akurasi dimensi filament PLA menggunakan metode taguchi dan dianalisa menggunakan ANOVA. Parameter yang digunakan pada penelitian ini meliputi *nozzle temperature* 205 °C, 210 °C dan 215°C, *Extrusion width* dengan nilai 0,3 mm, 0,35 mm dan 0,4 mm, *infil density* yang digunakan 25%, 50%, dan 75%, dan *infil pattern* menggunakan pola honeycomb, grid dan triangle. Hasil penelitian ini parameter yang paling berpengaruh yaitu *infil density* dan *nozzle temperature* dengan nilai sebesar 40,78% dan 14,17%. Parameter optimum ditunjukkan pada kombinasi *nozzle temperature* 215 °C, *extrusion width* 0,35 mm, *infil density* 75% dan pola *honeycomb* yang menghasilkan specimen dengan kekuatan tarik sebesar 30,52 Mpa.

Tontowi dkk, (2017) meneliti optimalisasi parameter pada 3D printing untuk meningkatkan kualitas produk dengan bahan *polylactic acid* (PLA). Pada penelitian ini terdapat tiga parameter proses yang digunakan meliputi *layer height* (0.05, 0.1 dan 0.15 mm), *temperature nozzle* (195, 200 dan 205 ° C) dan sudut *raster* (-45°, 0°, dan 60°) dimana digunakan analisis metode Taguchi dan *Response Surface Method*. Dalam metode Taguchi digunakan *array ortogonal* (OA) L₉ dengan 3 level dan diasumsikan bahwa setiap parameter memiliki efek independen atau tidak ada efek interaksi satu sama lain.

Tatsuaki dkk, (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi campuran ketebalan PVA terhadap penyebaran obat berbentuk tablet yang dicetak menggunakan *3D printing dual extruder*. Penelitian ini menggunakan *calcein* yang diasumsikan sebagai obat. Parameter yang diujikan yaitu variasi ketebalan *layer height* 0 mm, 1 mm dan 2 mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan (*layer height*) PVA yang digunakan pada pembuatan tablet memiliki pengaruh terhadap lama waktu penyebaran *calcein*, dimana semakin tebal PVA yang digunakan pada pencetakan tablet akan mempercepat proses penyebaran *calcein*.

Mohanty dkk, (2015) melakukan penelitian pembuatan rekayasa sel tubuh manusia dengan *infill density* pada *mould* dengan material PVA terhadap *porosity* dan *surface area*, pembuatan rekayasa sel menggunakan bahan *Polydimethylsiloxane* dan menggunakan bahan pengikat *2-hidroksietil metakrilat*. Pengaturan 3D Printing yang digunakan yaitu *infill pattern Hexagonal*, *Nozzle temperature* 200 °C, *temperature bed* 40 °C dan *layer hight* 0,2 mm. variasi *infill density* yang digunakan yaitu 20%, 40%, 60% dan 80%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada *infill density* 20% memiliki *porosity* 20%, dan *surface area* 58 cm²/cm³, *infill density* 40% memiliki *porosity* 40% dan *surface area* 100 cm²/cm³, *infill density* 60% memiliki *porosity* 60%- dan *surface area* 120 cm²/cm³, pada *infill density* 80% memiliki *porosity* 80% dan *surface area* 140 cm²/cm³.

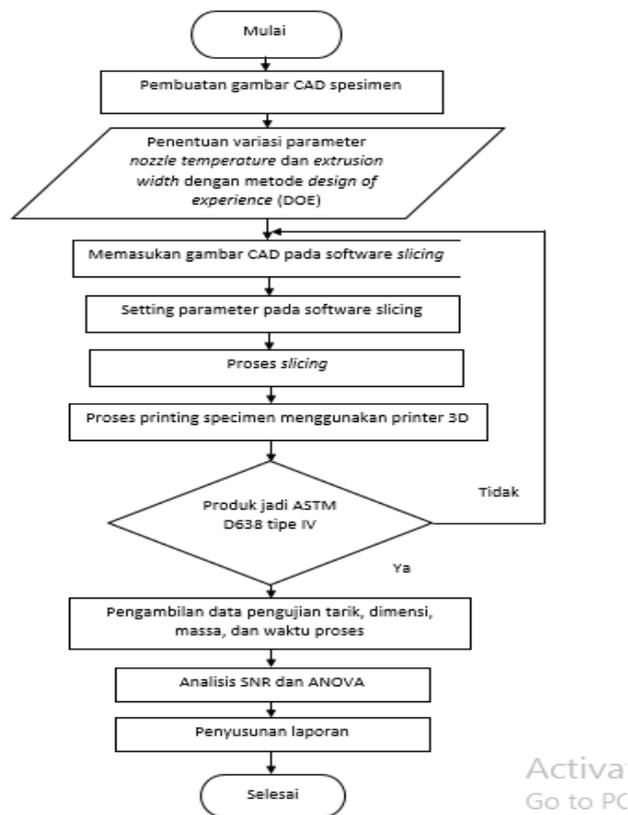
Christiyan dkk, (2016) meneliti pengaruh parameter proses 3D printing terhadap sifat mekanik dengan bahan ABS. Desain spesimen menggunakan Standar ASTM D638 dan ASTM D760 untuk melakukan uji tarik dan uji lentur. Penelitian ini menggunakan 2 yaitu ketebalan lapisan dengan variasi 0,2 mm, 0,25 mm, dan 0,3 mm dan kecepatan cetak dengan variasi 30 mm/s, 40mm/s, dan 50 mm/s. Hasil penelitian menunjukkan spesimen dengan parameter ketebalan lapisan 0,2 mm dan kecepatan cetak 30 mm/s menghasilkan kekuatan tarik maksimal sebesar 28,5 MPa dan beban lentur maksimal sebesar 43 N sedangkan untuk kekuatan tarik terendah sebesar 17 Mpa dan beban lentur terendah sebesar 22 N ditunjukkan pada spesimen dengan parameter ketebalan lapisan 0,3 mm dan kecepatan cetak 50 mm/s. Dapat disimpulkan bahwa dengan menurunkan kecepatan cetak dan mengurangi ketebalan lapisan akan menghasilkan ikatan lapisan yang lebih baik serta menghasilkan kekuatan tarik dan beban lentur maksimum.

Johansson, (2016) meneliti 3D printing *Fused Filamen Fabrication* (FFF), penelitian dilakukan terhadap karakteristik sifat tarik & ikatan lapisan pada bahan ABS, PET dan PLA. Parameter yang digunakan yaitu *nozel temperature*, *flow rate*, *layer thickness*, dan *printing speed*. Hasil penelitian ini bahan yang paling kuat yaitu PLA dengan kekuatan tarik sebesar 51 MPa selanjutnya PET dengan kuat tarik sebesar 40 MPa dan ABS dengan kuat tarik terendah yaitu sebesar 34 MPa. Parameter *nozel temperature*, *layer thickness*, dan *printing speed* merupakan parameter proses yang berpengaruh terhadap ikatan lapisan. lapisan yang dicetak dengan *nozel temperature* 250°C tujuh kali lebih baik daripada spesimen yang dicetak pada temperatur 190°C. Lapisan yang dicetak dengan *layer thickness* 0,1 mm menunjukkan peningkatan kapasitas beban sebesar 91% dibandingkan dengan *layer thickness* 0,4 mm sedangkan *printing speed* dengan nilai 10 mm/s menunjukkan kinerja ikatan lapisan 95% lebih baik daripada *printing speed* 130 mm/s.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, penelitian ini memfokuskan optimalisasi parameter proses 3D *printing* pada bahan PVA dengan menggunakan desain eksperimen Metode Taguchi. Parameter proses yang diujikan meliputi *nozzle temperature*, dan *extrusen width*. Selanjutnya dilakukan pengambilan data akurasi dimensi dan pengujian tarik untuk mengetahui sifat mekanik produk. Hasil respon dianalisis menggunakan ANOVA dan SNR untuk mengetahui pengaruh parameter yang paling optimal serta kombinasi level optimal untuk memperbaiki kualitas produk 3D *printing*.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Bahan

Bahan filamen dalam penelitian ini menggunakan jenis PVA dengan diameter 1.75 mm. filament dengan merek e-sun didapatkan dari Shenzhen e-sun industrial China

2.3 Design of Experiment (DOE)

Pembuatan desain eksperimen meliputi penentuan faktor dan level yang akan dimasukkan pada konfigurasi parameter di software slic3r. Parameter yang digunakan dalam penelitian adalah *nozzle temperature* (°C) dan *extrusion width* (mm) dengan dua variasi level perubahan. Besarnya nilai variasi level berasal dari perhitungan secara teoritis, percobaan pra-eksperimen dan dari jurnal penelitian yang telah diteliti. Parameter proses dan level ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter proses dan level

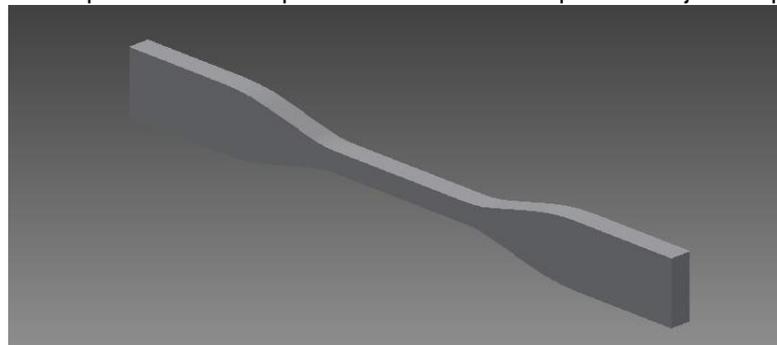
Faktor	Parameter Proses	Level	
		1	2
A	<i>Nozzle temperature</i> (°C)	180	190
B	<i>Extrusion width</i> (mm)	0.3	0.4

Desain faktorial menggunakan matriks ortogonal L4 (2²) yang artinya percobaan dilakukan sebanyak empat kali dimana ada dua faktor kontrol dengan dua level perubahan dalam setiap faktornya. Pemilihan matriks orthogonal disesuaikan berdasarkan jumlah percobaan, faktor, dan level yang akan dimati. Selanjutnya replikasi dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap percobaannya untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi.

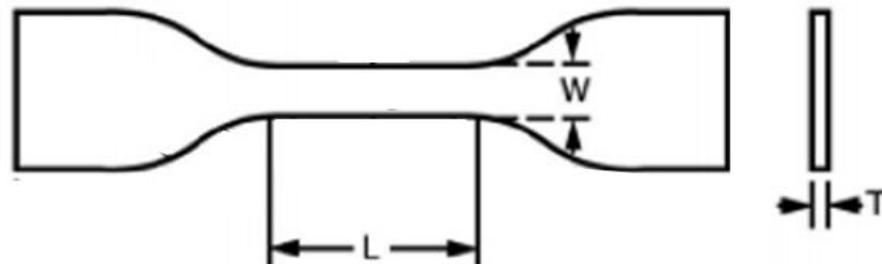
Tabel 2. Desain Faktorial

Experiment	Level	
	Nozzle temperature (°C)	Extrusion width (mm)
1	180	0.3
2	180	0.4
3	190	0.3
4	190	0.4

Desain objek digambar menggunakan *software* Inventor Profesional 2015. Dimensi objek dibuat sesuai standar spesimen uji tarik untuk bahan plastik yaitu ASTM D638 tipe IV. Dimensi spesimen ASTM D638 tipe IV ditunjukkan pada Tabel 4

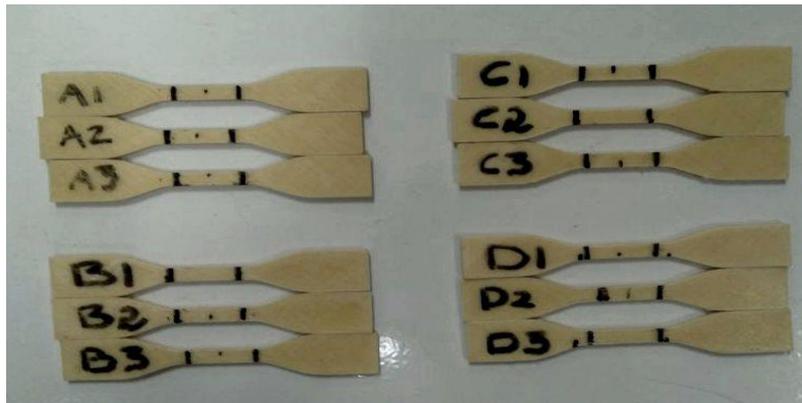


Gambar 2. Desain CAD spesimen



Keterangan: W : 6 mm (± 0.5)
 T : 4 mm (± 0.5)
 L : 33 mm (± 0.5)

Gambar 3. Dimensi standar ASTM D-638



Gambar 4. Spesimen hasil 3D printing.

Setelah desain telah selesai dibuat, kemudian melakukan proses *slicing* dan *setting* parameter sesuai DOE. Selanjutnya proses pencetakan spesimen sebanyak 12 spesimen. Kemudian dilakukan pengambilan data pada setiap spesimen meliputi massa produk, dimensi produk, dan pengujian tarik. Data yang telah didapat kemudian diolah dan dilakukan analisis menggunakan SNR dan ANOVA

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini menghasilkan 12 spesimen standar ASTM D638-IV dari sembilan percobaan dengan tiga kali replikasi setiap percobaannya yang dicetak menggunakan 3D printer prusa-i3. Kemudian dilakukan pengambilan data meliputi massa produk, dimensi produk, waktu proses pencetakan, dan pengujian tarik.

Tabel 3. Data pengukuran massa dan waktu cetak.

No	Spesimen	Waktu (menit)	R1	R2	R3	Rata-Rata Massa (gr)
1	A	67	5.60	5.58	5.59	5.59
2	B	48	5.68	5.66	5.65	5.66
3	C	67	5.55	5.51	5.53	5.53
4	D	48	5.62	5.63	5.64	5.25

Berdasarkan tabel 3 dapat diketahui bahwa kombinasi parameter proses *nozzle temperatur* dan *extrusion width* mempengaruhi nilai masa dan waktu proses pencetakan. *Extrusion width* yang semakin besar akan mempercepat waktu proses pencetakan. Hal ini terjadi karena *extrusion width* berpengaruh pada jumlah line dari *infill* sehingga semakin kecil *extrusion width* yang digunakan akan meningkatkan waktu dari proses pencetakan. Pada hasil percobaan 2 dan 4 menunjukkan hasil pencetakan tercepat dengan menggunakan parameter *extrusion width* 0.4 dan waktu pencetakan terlama ditunjukkan pada percobaan 1 dan 3 menggunakan *extrusion width* 0.3. *Extrusion width* juga berpengaruh terhadap nilai massa karena semakin besar nilai *extrusion width* yang digunakan maka semakin tinggi nilai massa yang didapat. Hal tersebut terjadi karena semakin besar nilai *extrusion width* maka semakin besar line ekstrusi yang dikeluarkan pada saat proses pencetakan. Pada *nozzle temperature* akan berpengaruh pada nilai massa, semakin besar nilai *nozzle temperature* yang digunakan maka massa yang didapat akan semakin ringan. Hal tersebut terjadi diakibatkan terjadinya penguapan pada filament saat proses ekstrusi sehingga filament yang diekstrusi tidak sempurna.

Tabel 4. Hasil pengukuran dimensi

Width (W)			Rata-rata (mm)	Standar Deviasi	Thickness (T)			Rata-rata (mm)	Standar Deviasi
R1	R2	R3			R1	R2	R3		
6.24	6.23	6.13	4	0.060	4	3.91	3.94	3.95	0.045
6.23	6.21	6.25	6.23	0.02	3.97	4	4.06	4.01	0.045
6.33	6.2	6.17	6.233	0.085	3.82	3.93	4	3.91	0.090
6.3	6.2	6.24	6.24667	0.05033	4.01	3.99	4.02	4.00667	0.01528

No	Spesimen	Length (L)			Rata-rata	Standar deviasi
		R1	R2	R3		
1	A	33.23	33.22	33.19	33.21333	0.020817
2	B	33.22	33.21	33.28	33.23667	0.037859
3	C	33.32	33.21	33.20	33.24333	0.066583
4	D	33.36	33.35	33.39	33.36667	0.020817

Berdasarkan data hasil pengukuran dimensi produk untuk setiap replikasi dari percobaan yang ditunjukkan pada Tabel 6. hasil pengukuran dimensi w dan T diperoleh data dimensi dengan nilai diatas dan dibawah standar ASTM D638-IV namun nilai ini masih masuk dalam batas toleransi yang diijinkan.

3.1 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Badan Penelitian dan Pengembangan Industri, Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik (BBKPP) Yogyakarta. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai F_{max} yang kemudian digunakan sebagai data perhitungan untuk mengetahui nilai tegangan tarik. Metode pengujian menggunakan standar pengujian ASTM D-638 untuk tipe IV yaitu dengan kecepatan pengujian sebesar 5 mm/menit. Berikut adalah gambar spesimen hasil pengujian tarik dan grafik F_{max} .



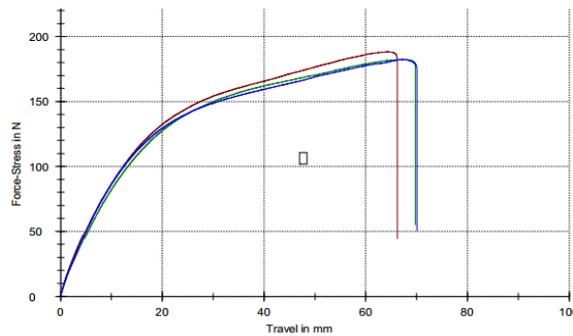


Gambar 5. Spesimen hasil uji tarik

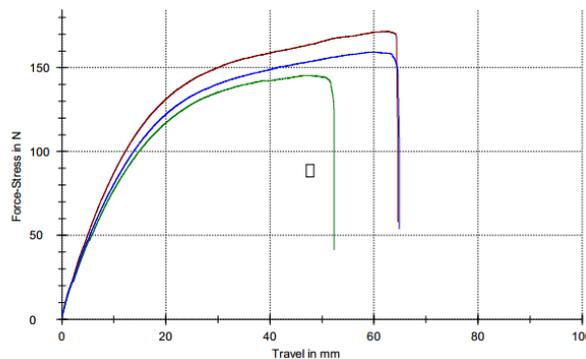
Tabel 5. Hasil uji tarik

No	Fmax (kgf)			
	A	B	C	D
1	18.068	19.197	17.492	18.260
2	17.052	18.599	14.825	17.996
3	15.559	18.605	16.248	17.986

Berdasarkan data tabel hasil pengujian tarik, Dari pengujian tersebut spesimen percobaan 2 replikasi ke 1 menghasilkan nilai F_{max} tertinggi sedangkan nilai F_{max} terendah dihasilkan oleh spesimen percobaan 3 replikasi ke 2. Berikut ini kurva hasil pengujian tarik pada spesimen dengan nilai F_{max} terkecil dan F_{max} terbesar.



Gambar 6. Kurva percobaan ke 2

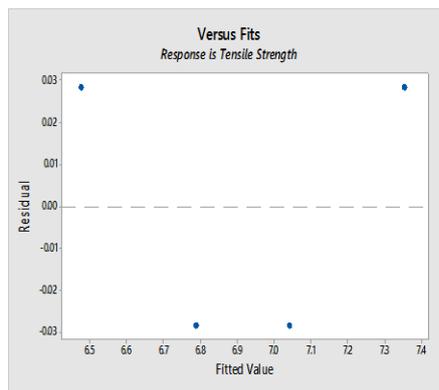


Gambar 7. Kurva percobaan ke 3

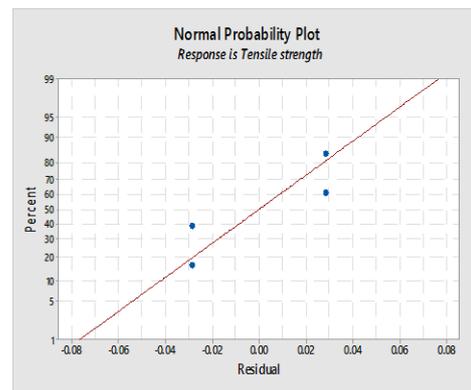
Kemudian dilakukan perhitungan tegangan tarik untuk semua spesimen percobaan. Data hasil perhitungan *tensile strength* ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan *tensile strength*

Percobaan	Tensile Strength (MPa)			
	A	B	C	D
1	7.098	7.611	7.093	7.076
2	6.864	7.342	5.966	7.02
3	6.317	7.19	6.456	6.942
Rata-rata (MPa)	6.759667	7.381	6.505	7.012667
Standar deviasi	0.400817	0.213192	0.565096	0.0673



Gambar 8. Grafik *Versus fit*

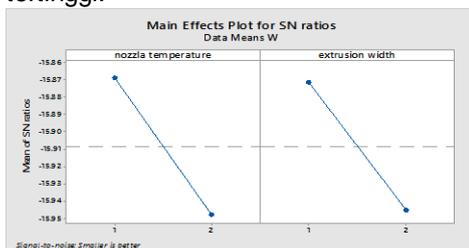


Gambar 9. Grafik *Normal probability*

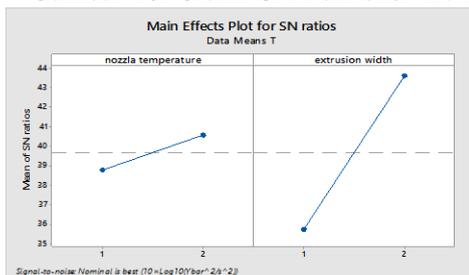
Berdasarkan dari grafik *versus fit* dan grafik *normal probability* diatas menunjukkan tingkat penyebaran data yang baik dan memiliki tingkat normalitas data yang baik sehingga data dapat dianalisis lanjutan menggunakan SNR dan ANOVA.

3.2 Analisis SNR

Analisis pada penelitian ini menggunakan *software* Minitab. Selanjutnya level parameter proses yang diurutkan dari yang paling berpengaruh dan ditulis dalam tabel respon dan grafik *main effect*. Parameter respon dimensi produk dianalisis menggunakan metode SNR *nominal is the best* (NTB) atau tertuju pada nilai tertentu. Nilai target dari SNR NTB adalah tidak nol dan nilainya terbatas. Dalam tahap ini dilakukan pemilihan level yang meminimalkan gangguan dengan memilih level yang memiliki nilai SNR tertinggi.



Gambar 10. Grafik SNR dimensi *width*



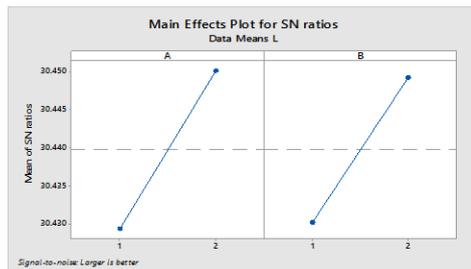
Tabel 7 respon dimensi w

Level	Nozzle temperature	Extrusion width
1	-15.87	-15.87
2	-15.95	-15.95
Delta	0.08	0.07
Rank	1	2

Tabel 8 respon dimensi T

Level	Nozzle temperstur	Extrusion width
1	38.78	35.71
2	40.54	43.61
Delta	1.76	7.90
Rank	2	1

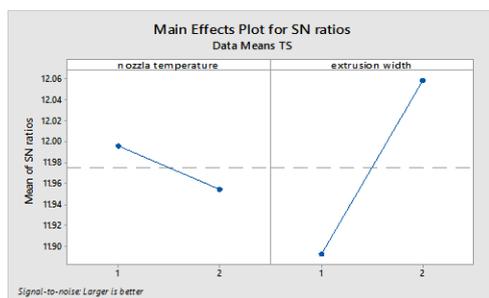
Gambar 11. Grafik SNR dimensi *Thickness*



Level	Nozzle temperatur	Extrusion width
1	33.23	33.23
2	33.31	33.30
Delta	0.08	0.07
Rank	1	2

Gambar 12. Grafik SNR dimensi *Length*

Metode SNR respon *tensile strength* dilakukan menggunakan metode SNR *Larger The Better* (LTB) atau semakin besar semakin baik karena target yang dituju adalah untuk menentukan level parameter yang menghasilkan nilai *tensile strength* tertinggi.



Level	Nozzle Temperatur	Extrusion Width
1	12.00	11.89
2	11.95	12.06
Delta	0.04	0.17
Rank	2	1

Gambar 12. Grafik SNR Tegangan Tarik

Berdasarkan analisis menggunakan nilai SNR dapat diketahui level yang optimal dan tingkat parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik. Berikut ini tabel parameter proses yang optimal dan tabel nilai level parameter proses optimal berdasarkan SNR ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Level optimal berdasarkan hasil SNR

Respon	nozzle temperature(°c)	extrusion width (mm)
Dimensi w	180	0.3
Dimensi T	190	0.4
Dimensi L	190	0.4
<i>Tensile strength</i>	180	0.4

Tabel 12. Parameter optimal berdasarkan hasil SNR

Rank	Dimensi w	Dimensi T	Dimensi L	<i>tensile strength</i>
1	nozzle temperature	extrusion width	nozzle temperature	extrusion width
2	extrusion width	nozzle temperature	extrusion width	nozzle temperature

3.3 Analisis ANOVA

Analisis varians atau ANOVA digunakan untuk mengetahui persen kontribusi setiap parameter proses dengan melakukan pengklasifikasian hasil-hasil percobaan secara statistik sesuai sumber-sumber varians. Klasifikasi yang dihitung meliputi ST, Sm, Df, Sq (setiap faktor), St, Mq (setiap faktor), F-ratio, Sq¹, p%, dan P-value. Pada

penelitian ini ditentukan nilai *alpha-error* sebesar α : 0.05 (5%). Nilai α berarti bahwa penelitian ini menerima 5% kemungkinan kesalahan dalam mengklasifikasi. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan ANOVA.

Tabel 13. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *width*

source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	$\rho\%$
Nozzle Temperatur	0,00321 1	1	0,00321 1	5,9	0,00268 6	0,249	40,82
Extrusion Widht	0,00284 4	1	0,00284 4	5,22	0,00232 0	0,263	35,25
e	0,00054 4	1	0,00054 4		0,00157 3		28,25
St	0,0066	3	0,00658 1		0,00658 0		100
Mean	155,916 8	1					
ST	155,923 4	4					

Tabel 14. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *thickness*

source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	$\rho\%$
Nozzle Temperatur	0,000336	1	0,000336	1,49	0,000085	0,437	1,38
Extrusion Widht	0,005625	1	0,005625	25,00	0,005374	0,126	86,53
e	0,000225	1	0,000225		0,000750		12,07
St	0,006186	3	0,006210		0,006210		100
Mean	63,07012	1					
ST	63,07630	4					

Tabel 15. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *length*

source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	$\rho\%$
Nozzle Temperatur	0,006400	1	0,00640 0	2,56	0,0039	0,356	27,31
Extrusion Widht	0,005378	1	0,00537 8	2,15	0,002878	0,381	20,15
e	0,002500	1	0,00250 0		0,00755		52,87
St	0,014278	3	0,01427 8		0,014278		100
Mean	4426,2409	1					
ST	4426,2551 8	4					

Tabel 16. Persen kontribusi parameter terhadap tegangan tarik

source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	ρ%
Nozzle Temperatur	0,09703 2	1	0,09703 2	30,04	0,09380 2	0,115	22,39
Extrusion Widht	0,31866 0	1	0,31866 0	96,66	0,31543 0	0,064	75,29
e	0,00323	1	0,00323		0,00969		2,31
St	0,41892 3	3	0,41892 2		0,41892 2		100
Mean	191,245 9	1					
ST	191,664 8	4					

Tabel 17. Parameter proses optimal berdasarkan hasil ANOVA

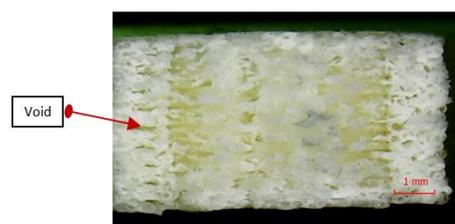
Rank	Dimensi w	Dimensi T	Dimensi L	tensile strength
1	nozzle temperature	extrusion width	nozzle temperature	extrusion width
2	extrusion width	nozzle temperature	extrusion width	nozzle temperature

Berdasarkan tabel di atas untuk analisis SNR dan ANOVA memiliki hasil yang berbeda untuk urutan peringkat parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi, akan tetapi memiliki hasil yang sama untuk urutan parameter yang paling berpengaruh pada TS. Dari analisis yang telah dilakukan parameter proses *extrusion width* menunjukkan hasil yang dominan pada respon dimensi dan *tensile strength*. Hal ini ditunjukkan pada *extrusion width* yang berada pada peringkat pertama untuk dimensi W (ρ: 35.25%), T (ρ: 86.53%), L (ρ: 20.15%), dan *tensile strength* (ρ: 75.29%). Dari hasil persen kontribusi tersebut dapat diketahui bahwa *layer heigh* menjadi parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon pada penelitian ini secara keseluruhan.

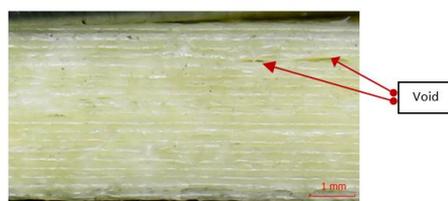
Berdasarkan data diatas dapat diketahui bahwa, *extrusion width* pada proses 3D printing merupakan salah satu parameter proses yang penting karena parameter ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekuatan tarik dan akurasi dimensi produk.



Gambar 14 foto area patahan *extrusion width* 0.3 patahan *extrusion width* 0.4



Gambar 15 foto pada area



Gambar 16 lapisan *extrusion width* 0.3 *extrusion width* 0.4



Gambar 17 lapisan

Melihat pada gambar 15 terlihat adanya gap (ruang kosong) pada tumpukan *layer*. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kurang mencairnya filament yang terbentuk pada saat ekstrusi, sehingga tumpukan filament yang terbentuk pada saat pembentukan *layer* tidak sempurna sehingga menghasilkan gap (ruang kosong). Selain itu faktor *extrusion width* yang kecil menghasilkan ukuran *line* yang kecil sehingga ekstrusi terjadi penumpukan dan tidak menempel antara *layer*.

Pada penelitian ini penggunaan *parameter nozzle temperature* tidak berpengaruh terlalu besar pada akurasi dimensi dan kekuatan tarik. Hal tersebut dapat dibuktikan pada hasil perhitungan ANOVA bahwa persen kontribusi parameter *nozzle temperature* hanya mencapai 40%, sedangkan nilai kontribusi *extrusion width* memiliki pengaruh kontribusi yang besar terhadap akurasi dimensi dan kekuatan tarik yaitu mencapai 86% .

Jika membandingkan penggunaan *extrusion width* dengan nilai parameter 0.3 dan 0.4 pada kontribusi nilai kekuatan tarik dapat disimpulkan bahwa dengan menaikkan nilai parameter *extrusion width* dapat menaikkan nilai kekuatan tarik. . seperti yang terlihat pada penelitian ini nilai tegangan tarik dengan penggunaan *extrusion width* 0.3 menghasilkan nilai rata-rata tegangan tarik 6.25 MPa dan pada *extrusion width* 0.4 menghasilkan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 7.19 MPa.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kombinasi level parameter proses optimal untuk respon akurasi dimensi w yaitu *nozzle temperature* level 1 (180°C), *extrusion width* level 1 (0,3 mm), dimensi L *nozzle temperature* level 2 (190°C), *extrusion width* level 2 (0,4 mm) dan untuk dimensi T yaitu *nozzle temperature* level 2 (190°C), *extrusion width* level 2 (0,4 mm).
2. Kombinasi level parameter proses optimal untuk respon kekuatan tarik yaitu *nozzle temperature* level 1 (180°C), dan *extrusion width* level 2 (0,4 mm).
3. Parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik pada produk 3D *printing* dengan bahan PVA adalah *extrusion width* dengan kontribusi paling besar yaitu 75% berdasarkan analisis ANOVA.
4. Parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi produk 3D *printing* bahan PVA menunjukkan hasil yang berbeda-beda pada ke tiga dimensi. Berdasarkan hasil analisis ANOVA parameter *nozzle temperature* merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap respon dimensi w dengan nilai persen kontribusi sebesar 40,82% sedangkan untuk dimensi T parameter paling berpengaruh dihasilkan oleh parameter *extrusion width* dengan nilai persen kontribusi sebesar 86,53%. Dan untuk dimensi L parameter yang paling berpengaruh dihasilkan oleh *nozzle temperature* dengan nilai kontribusi sebesar 27.31 %.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2002). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics: D 638-02a, 46-48. West Conshohocken: ASTM International. Oregon State University.
- Christiyan, K. G., Chandrasekhar, U., dan Venkateswarlu, K. (2016). *A Study On The Influence of Process Parameters on The Mechanical Properties of 3D Printed-ABS Composite*. *Materials Science and Engineering* Vol. 2016, 1–9.
- Esun. (2018). *Data Sheet of eSUN 3D Printing Filament*. China: Shenzhen eSUN Industrial Co.Ltd.

- Johansson, F. (2016) *Optimizing Fused Filament Fabrication 3D Printing for Durability Tensile Properties and Layer Bonding*. Karlskrona: Blekinge Institute of Technology.
- Kuttig, Jochen., Hai, P. B. B., Unkovskiy. A., Schille. C., Geis. J. G., dan Spintzyk. S. (2017) *Mechanical properties of 3D printed water-soluble polyvinyl alcohol for maxillofacial prostheses prototypes*. *Journal of Medical Materials and Technologies*. Vol 1, 8-10.
- Mahardika, A. H. (2016). Analisis Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Material Polyactid Acid Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Menderes, K., Ipecki, A., dan Saruhan, H. (2017). *Investigation of 3D Printing Filling Structures Effect on Mechanical Properties and Surface Roughness of PET-G Material Products*. *Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research* Vol. 6, 114–121.
- Mohanty, S., Lasen, L B., Trifol., j., Szabo, P., H. V. R., Canali, C., Dufva, M., emneus, J., Wolf f, A. (2015) *Fabrication of scalable and structured tissue engineering scaffold using water dissolvable sacrificial 3D printed mould*. *Materials Science ang Engineering C*. Vol 2015, fgo569-578.
- Tatsuaki. T, Fukushige, K., Ogawa, E. H, N., and Tetsuya Ozeki. (2017) *3D Printing Factors Important for the Fabrication of Polyvinylalcohol Filament Based Tablets*. *Nagoya City: Graduate Shool of Pharmaceutical Science Universit*. Vol 40,357–364.
- Tontowi, A. E., Ramdani, L., Baroroh, K. D., dan Erdizon, R. V. (2017). Optimization of 3D-Printer Process Parameters for Improving Quality of Polylactic Acid Printed Part. *International Journal of Engineering and Technology* Vol. 9, 589-600.