

Analisis Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Material PVA Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi

Setiyawan^a, Aris Widyo Nugroho^b Cahyo Budiyanoro^c,

^a UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Kasihan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta
+62081222455569

e-mail: Setiyawan2794@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 (2²) dimana terdapat empat percobaan dengan dua parameter proses yang digunakan yaitu feed rate dan layer heigh serta dengan dua variasi level pada setiap parameter (80 %, 100 %, 0,2 mm, 0,4 mm),. Respon yang digunakan pada penelitian ini meliputi akurasi dimensi (w, T dan L) dan kekuatan tarik, selanjutnya data hasil respon dianalisis menggunakan SNR dan ANOVA.

Berdasarkan hasil analisis SNR dan ANOVA menunjukkan parameter proses paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik didominasi oleh parameter layer heigh yang diikuti oleh feed rate. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kombinasi level parameter proses optimal yang dihasilkan dari Metode Taguchi yaitu feed rate 80%, dan layer heigh 0.2 mm menunjukkan hasil kekuatan tarik produk PVA dengan nilai tegangan tarik terbesar yaitu 6.636 Mpa pada interval kepercayaan (CI) 95%.

Kata Kunci: *3D Printing*, FDM, PVA, *Feed rate*, Layer heigh, Taguchi, Kekuatan Tarik, Akurasi Dimensi

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri manufaktur, efisiensi dalam proses dan ketepatan akurasi dimensi produk merupakan salah satu faktor yang sangat penting karena memberikan pengaruh signifikan terhadap biaya yang akan dikeluarkan untuk menghasilkan sebuah produk. Sebelum dilakukan pembuatan suatu produk dalam jumlah yang banyak terlebih dahulu dibuat model atau *prototype* untuk mengetahui bentuk, dimensi dan ergonominya agar dapat dilakukan evaluasi pada produk yang akan dibuat. Saat ini Pembuatan *prototype* dapat dilakukan dengan metode *additive manufacturing* (AM) atau *3D printing*. (Lubis, 2016).

3D printing atau AM merupakan sebuah alat pencetak *revolusioner* yang mampu untuk menciptakan sebuah benda dengan metode penekanan lapis demi lapis dengan

bahan plastik, kayu dan titanium yang diubah menjadi benda berbentuk padat atau 3D. Teknologi *additive manufacturing* banyak digunakan dalam berbagai industri dan teknik seperti pembuatan produk otomotif, *medical implant*, industri pesawat terbang, pembuatan produk rumah tangga dan interior pada hiasan rumah.

Rapid prototyping merupakan teknik yang dapat digunakan untuk mengubah data *computer aided design* (CAD) menjadi benda 3D dengan- *additive manufacture* atau teknologi 3D printing, ada beberapa jenis *rapid prototyping* yang ada pada saat ini diantaranya *Fused Deposition Modeling* (FDM), *Selective Laser Sintering* (SLS), dan *Stereolithography* (SLA). (Cholid, 2015).. Berkembangnya teknologi *rapid prototyping* yang menggunakan teknologi 3D printing dapat membuat proses desain atau pembuatan suatu produk menjadi lebih cepat.

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). Terdapat beberapa jenis bahan polimer filament yang tersedia di pasaran dan setiap bahan polimer memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung dari penggunaan dan jenis produk yang nantinya akan dibuat. Material polimer yang terdapat dipasaran diantaranya filament *polylactic acid or polylactid* (PLA), *polyvinylalcohol* (PVA), nylon dan *polyethylene terephthalate glycol* (PETG).

PVA merupakan jenis filament yang memiliki karakteristik larut dalam air, biasanya PVA sering digunakan sebagai bahan pendukung untuk pembuatan produk dengan bahan utama PLA/ABS pada *dual extruder 3D printing*, namun polimer PVA juga bisa dicetak secara mandiri untuk pembuatan suatu produk. Kelebihan PVA yaitu mudah diuraikan secara alami (*biodegradable*) dan lebih mudah untuk dilakukan proses pencetakan dengan menggunakan 3D printing.

Kuttig, (2017) melakukan penelitian tentang pembuatan prototype maxillofacial prostheses menggunakan 3D printing dengan bahan PVA, penelitian ini menggunakan variasi arah *printing* X,Y dan Z. Proses printing menggunakan parameter print *temperature* 215°C, *nozzle diameter* 0,35 mm, *bed temperature* 50 °C, *density* 50%, *layer thickness* 0,2 mm, print speed 80 mm/s. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa posisi arah printing dapat mempengaruhi kekuatan lentur pada pembuatan spesimen dimana nilai kelenturan tertinggi diperoleh pada arah print X sebesar 1879.77N/mm², dan nilai terendah diperoleh pada arah print Z sebesar 701.32N/mm².

Mahardika, (2017) melakukan optimasi parameter proses 3D printing bahan PLA menggunakan metode taguchi. Parameter proses yang diujikan yaitu *nozzle temperature*, *extrusion width*, *infill density*, dan *infill pattern* dengan dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan parameter *infill density* dan *nozzle temperature* menjadi parameter proses paling berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik dengan nilai kontribusi sebesar 40.78% dan 14.17%.

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*.

Menderes dkk, (2017) melakukan penelitian mengenai pengaruh struktur pola pengisi 3D *printing* pada bahan PETG. Parameter yang diujikan adalah *infill patern* dengan variasi pola yaitu *rectilinear*, *triangular*, dan *honeycomb*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 48,57 MPa terdapat pada produk dengan pola pengisi *rectilinear*.

Lubis, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh proses 3D printing bahan polymer PLA dan ABS terhadap kekuatan tarik dan ketelitian dimensi produk. Pada penelitian ini variasi parameter yang digunakan pada proses printing yaitu ketebalan *layer* 0,10 mm, 0,20 mm dan 0,40 mm dengan variasi orientasi objek *vertical* dan *horizontal*, hasil penelitian ini menunjukkan material PLA dengan posisi *horizontal* memiliki kualitas dimensi yang paling baik dan jumlah kesalahan akurasi dimensi pada material ini tidak melebihi 1 mm, material PLA dengan posisi objek *horizontal* dan tebal 0,40 mm memiliki kekuatan tarik terbesar yaitu 35,57 MPa.

Christiyan dkk, (2016) melakukan optimalisasi parameter proses 3D *printing* pada bahan komposit ABS. Parameter yang diujikan yaitu ketebalan lapisan dan kecepatan cetak dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi 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.

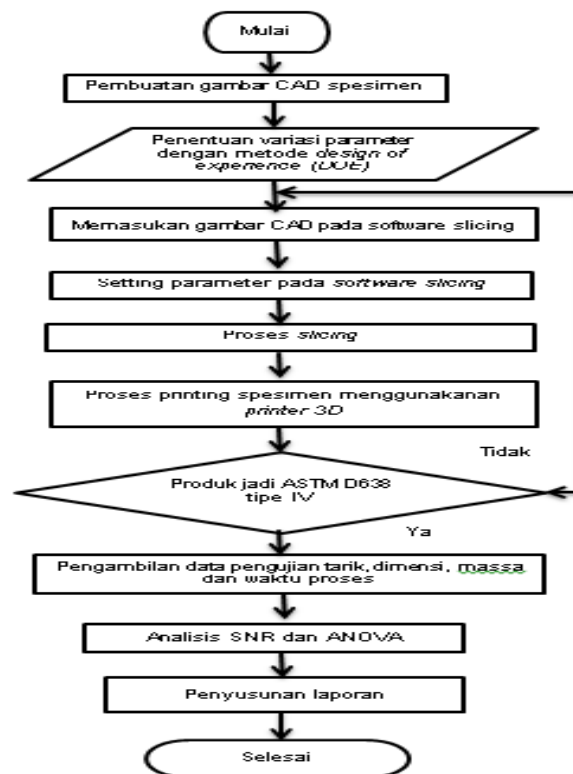
Basavaraj dkk, (2016) melakukan optimalisasi parameter proses 3D *printing* berbasis FDM pada bahan nylon menggunakan metode taguchi. Parameter yang diujikan meliputi *layer thickness*, *orientation angle*, dan *shell thickness* dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *layer thickness* merupakan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik.

Sukindar dkk, (2017) melakukan penelitian 3D *printing* berbasis RepRap (*Replicating Rapid Prototyper*) bahan PLA. Parameter yang diujikan yaitu *layer thickness*, *shell thickness*, dan *printing speed* dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa parameter *shell thickness* memberikan hasil signifikan ($p = 0,037$) dalam mempengaruhi hasil kekuatan tarik.

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 *feed rate*, dan *layer heigh*. 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 *feed rate* (%) dan *layer heigh* (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>Feed rate</i> (%)	80	100
B	<i>Layer heigh</i> (mm)	0.2	0.4

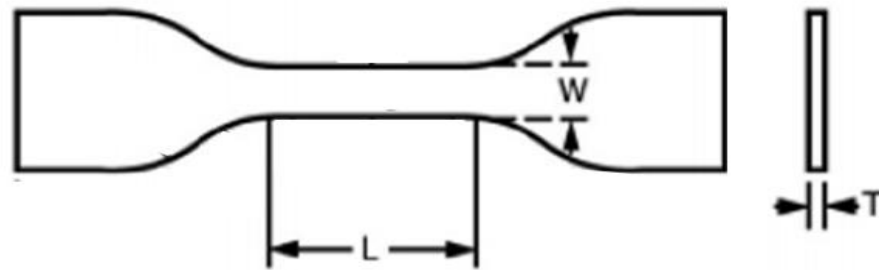
Desain faktorial menggunakan matriks ortogonal L4 (2²) yang artinya percobaan dilakukan sebanyak empat kali dimana ada dua faktor kontrol dengan dua level perubahan dalam setiap faktornya. Pemilihan matriks orthogonal disesuaikan berdasarkan jumlah percobaan, faktor, dan level yang akan dimati. Selanjutnya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

Tabel 2. Desain Faktorial

Experiment	Level
------------	-------

	Feed rate (%)	Layer heigh (mm)
1	80	0.2
2	80	0.4
3	100	0.2
4	100	0.4

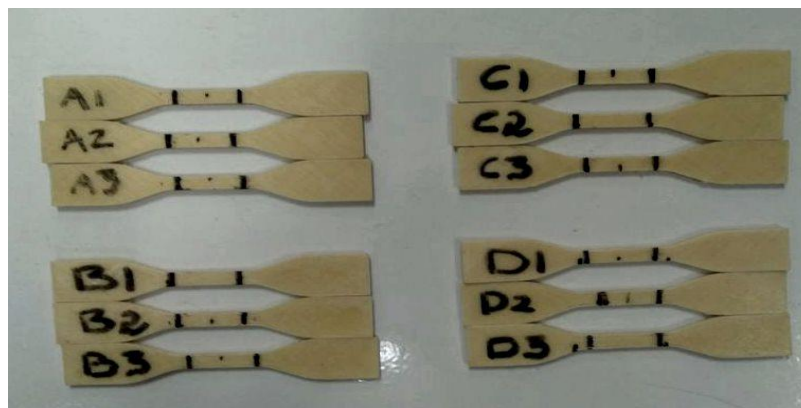
Desain objek digambar menggunakan *software* Inventor Profesional 2015. Dimensi objek dibuat sesuai standar spesimen uji tarik untuk bahan plastik yaitu ASTM D638 tipe IV. Dimensi spesimen ASTM D638 tipe IV ditunjukkan pada Tabel 4



keterangan:

- w : 6 mm (± 0.25)
- T : 4 mm (± 0.4)
- L : 33 mm (± 1.30)

Gambar 2. Dimensi standar ASTM D-638



Gambar 3. 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)	Massa			Rata-Rata Massa (gr)
			1	2	3	
1	A	69.06	6.09	6.07	5.99	6.05
2	B	47.33	5.49	5.15	5.15	5.26
3	C	39.3	5.77	5.76	5.78	5.77
4	D	18.85	5.2	5.25	5.3	5.25

Berdasarkan tabel 4.2 dapat diketahui bahwa *feed rate* yang semakin besar akan meningkatkan waktu proses pencetakan spesimen. Hal ini terjadi karena semakin tinggi nilai *feed rate* yang digunakan akan membuat pergerakan nosel yang semakin cepat pada saat proses pencetakan. Pada hasil percobaan 4 menunjukkan hasil pencetakan tercepat dengan menggunakan parameter *feed rate* 100 %. Pada *layer height* semakin meningkatnya ketebalan lapisan yang digunakan akan meningkatkan waktu pencetakan. (Abbas, 2018). Akan tetapi nilai yang semakin kecil akan meningkatkan massa pada spesimen yang dicetak. Pada hasil percobaan 1 menunjukkan nilai tertinggi untuk massa dimana menggunakan parameter *layer height* 0.2 mm dan massa terendah ditunjukkan pada hasil percobaan 4 yang menggunakan *layer height* 0.4 mm.

Tabel 4. hasil pengukuran dimensi

No	Spesimen	Width (W)			Rata-rata	Standar deviasi	Thickness (T)			Rata-rata	Standar deviasi
		R1	R2	R3			R1	R2	R3		
1	A	5.89	5.88	5.8	5.856667	0.049328	4.03	4.01	4	4.013333	0.015275
2	B	6.03	6.02	6.01	6.02	0.01	3.87	3.85	3.84	3.853333	0.015275
3	C	5.78	5.76	5.79	5.776667	0.015275	4	3.99	3.97	3.986667	0.015275
4	D	6.01	6	5.88	5.963333	0.072341	3.83	3.83	3.85	3.836667	0.011547

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 (BBKKP) 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} .

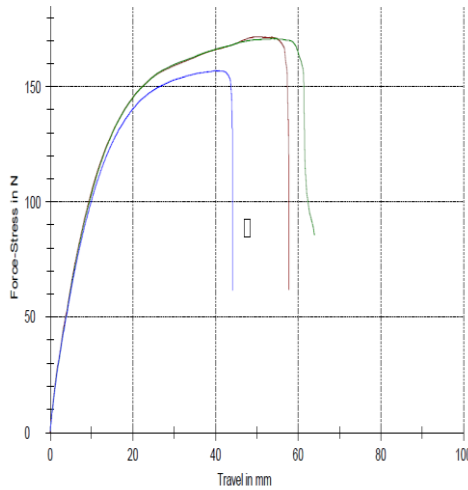


Gambar 4. Spesimen hasil uji tarik

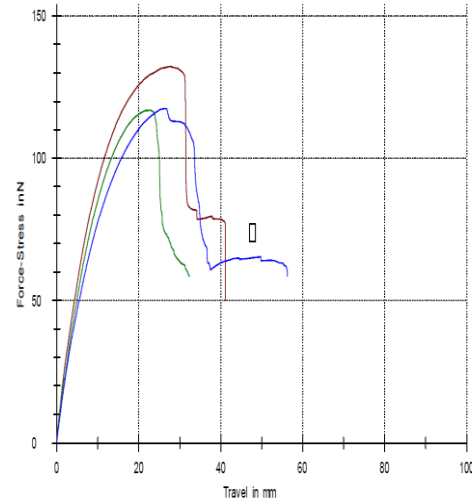
Tabel 5. Hasil uji tarik

No	Spesimen	Fmax (kgf)			Rata-rata	Sandar deviasi
		A	B	C		
1	A	17.498	17.423	16.003	16.97467	0.842323
2	B	13.014	13.764	13.726	13.50133	0.422471
3	C	15.528	15.482	16.211	15.74033	0.408258
4	D	13.484	11.925	11.983	12.464	0.883822

Berdasarkan data tabel hasil pengujian tarik, Dari pengujian tersebut spesimen percobaan 1 replikasi ke 1 menghasilkan nilai F_{max} tertinggi sedangkan nilai F_{max} terendah dihasilkan oleh spesimen percobaan 4 replikasi ke 2. Berikut ini kurva hasil pengujian tarik pada spesimen dengan nilai F_{max} terkecil dan F_{max} terbesar.



Gambar 5. Kurva percobaan ke 1

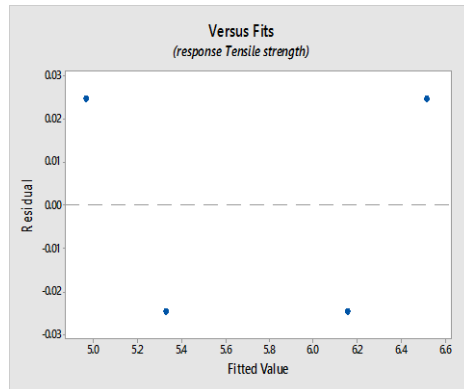


Gambar 6. Kurva percobaan ke 4

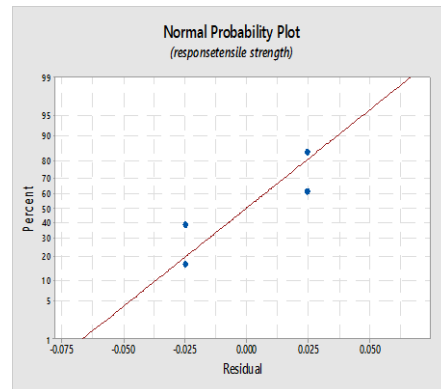
Kemudian dilakukan perhitungan tegangan tarik untuk semua spesimen percobaan. Data hasil perhitungan *tensile strength* ditunjukkan pada tabel 8.

Tabel 6. Hasil Perhitungan *tensile strength*

No	Spesimen	Mpa			Rata-rata	Sandar deviasi
		A	B	C		
1	A	6.636	6.634	6.191	6.487	0.256
2	B	5.468	5.823	5.832	5.707	0.207
3	C	6.586	6.606	6.600	6.597	0.010
4	D	5.744	5.088	5.19	5.340	0.353



Gambar 7. Grafik Versus fit Gambar



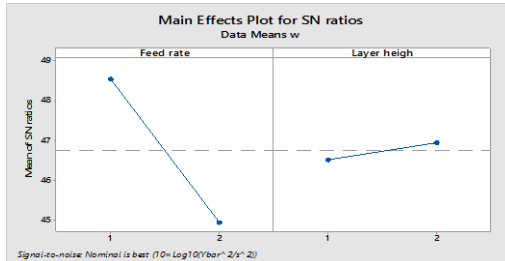
8. Grafik Normal probability

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 SNR bertujuan untuk mengetahui level faktor atau parameter proses yang berpengaruh terhadap respon. Metode SNR respon dimensi produk dilakukan menggunakan metode SNR *Nominal Is Best* (NTB) atau tertuju pada nilai tertentu

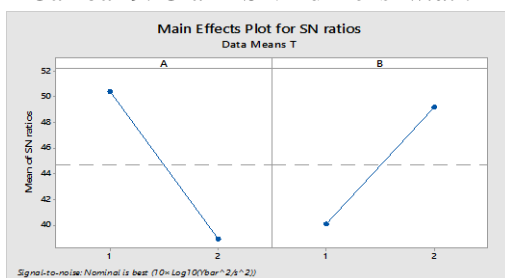
karena target yang dituju adalah untuk menentukan level parameter yang menghasilkan nilai penyimpangan akurasi dimensi terkecil dengan cara memilih level-parameter dengan nilai SNR tertinggi. *Software Minitab 17* menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk tabel respon dan grafik SNR.



Gambar 9. Grafik SNR dimensi *width*

Tabel 7 respon dimensi w

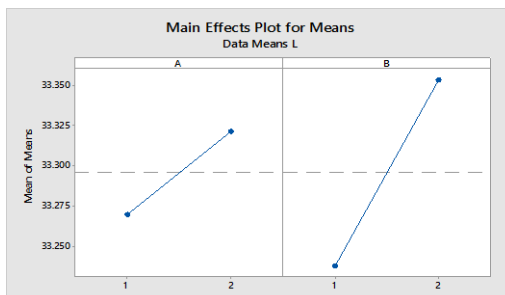
Level	Feed Rate	Layer Height
1	48.54	46.52
2	44.94	46.96
Delta	3.60	0.43
Rank	1	2



Gambar 10. Grafik SNR dimensi *Thickness*

Tabel 8 respon dimensi T

Level	Feed Rate	Layer Height
1	50.43	40.08
2	38.88	49.23
Delta	11.55	9.15
Rank	1	2

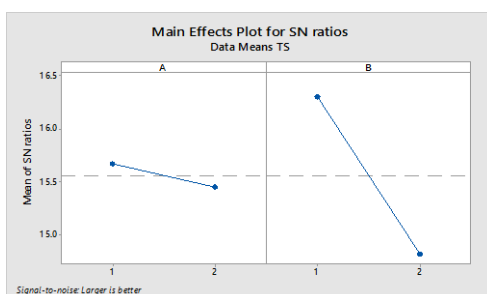


Gambar 11. Grafik SNR dimensi L

Tabel 9 respon dimensi L

Level	Feed Rate	Layer Height
1	33.27	33.24
2	33.32	33.35
Delta	0.05	0.11
Rank	2	1

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.



Gambar 12. Grafik SNR Tegangan Tarik

Tabel 10 respon TS

Level	Feed Rate	Layer Height
1	15.67	16.31
2	15.45	14.82
Delta	0.27	1.44
Rank	2	1

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	Feed rate	Layer Heigh
Dimensi w	80	0.4
Dimensi T	80	0.4
Dimensi L	100	0.4
Tensile strength	80	0.2

Tabel 12. Parameter optimal berdasarkan hasil SNR

Rank	Dimensi w	Dimensi T	L	TS
1	Feed rate	Feed Rate	Layer Heigh	Layer Heigh
2	Layer Heigh	Layer Heigh	Feed Rate	Feed Rate

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, Sq', $\rho\%$, 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	$\rho\%$
Feed Rate	0.00466	1	0.004668	34.31	0.004534	0.108	12.79
Layer Heigh	0.03063	1	0.03063	225.05	0.030488	0.042	86.06
e	0.000136	1	0.000136		0.0004		1.15
St	0.035423	3	0.011809		0.03542		100
Mean	139.436	1					
ST	139.472	4					

Tabel 14. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *thickness*

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	p	$\rho\%$
Feed Rate	0.000469	1	0.000469	18.78	0.004533	0.144	1.9
Layer heigh	0.024025	1	0.024025	961	0.030488	0.021	97.98
e	0.000025	1	0.000025		0.000409		0.1
St	0.024519	3	0.08173		0.2452		100
Mean	61.46	1					
ST	61.56	4					

Tabel 15. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi L

Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	ρ%
Feed rate	0.002669	1	0.002669	38.44	0.0026	0.102	16.28
Layer heigh	0.013225	1	0.013225	190.44	0.013156	0.046	82.41
E	0.000069	1	0.000069		0.000208		1.131
St	0.015964	3	0.015964				100
Mean	4434.447	1					
ST	4434.4638	4					

Tabel 16. Persen kontribusi parameter terhadap tegangan tarik

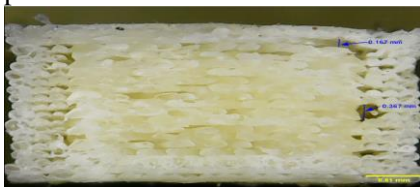
Source	Sq	Df	Mq	F-ratio	Sq'	P	ρ%
Feed rate.	0.01647	1	0.01647	0.29	0.01419	0.686	3.65
Layer heigh	1.03632	1	0.03632	181.19	0.924342	0.047	88.25
E	0.05696	1	0.05696		0.09513		8.1
St	1.10976	3	0.36992				100
Mean	146.7067	1					
ST	145.5964	4					

Tabel 17. Parameter proses optimal berdasarkan hasil ANOVA

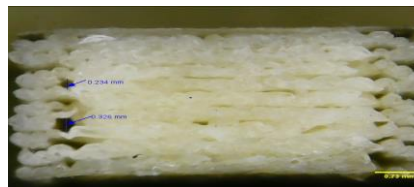
Rank	Dimensi w	Dimensi T	Dimensi L	TS
1	<i>Layer Heigh</i>	<i>Layer Heigh</i>	<i>Layer Heigh</i>	<i>Layer Heigh</i>
2	<i>Feed Rate</i>	<i>Feed Rate</i>	<i>Feed Rate</i>	<i>Feed Rate</i>

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 *layer heigh* menunjukkan hasil yang dominan pada respon dimensi dan *tensile strength*. Hal ini ditunjukkan pada *Layer heigh* yang berada pada peringkat pertama untuk dimensi W (ρ: 86.06%), T (ρ: 97.98%), L (ρ: 82.41%) dan *tensile strength* (ρ: 88.25%). 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, *layer heigh* 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 13 foto area patahan layer heigh 0.2



Gambar 14 foto pada area patahan layer heigh 0.4



Gambar 15 lapisan layer heigh 0.2



Gambar 16 lapisan layer heigh 0.4

Melihat pada gambar 16 Terlihat bahwa kualitas tumpukan pada *layer* yang terbentuk kurang sempurna yang ditandai dengan adanya celah (*Gap*) yang terdapat pada hasil tumpukan *layer*. *Gap* ini dapat disebabkan karena kurang mencairnya filamen yang terbentuk pada saat *extrusi* sehingga tumpukan filamen yang terbentuk pada saat pembentukan kurang sempurna dan menghasilkan *gap* pada area tertentu, selain itu faktor kecepatan *feed rate* cepat juga dapat mempengaruhi hasil printing sebab dengan meningkatkan kecepatan pencetakan dapat mengurangi konsistensi pada saat proses printing, hal ini dapat menyebabkan tekanan suhu filamen yang *diekstrusi* terus berubah dan sulit untuk membuatnya konstan, dengan semakin cepatnya kepala nozzle yang bergerak sulit untuk mengetahui apakah filament yang diekstrusi telah sepenuhnya meleleh atau belum (Sukindar dkk, 2017).

Pada penelitian ini penggunaan parameter *feed rate* pada respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik tidak terlalu berpengaruh besar, hal ini dapat dibuktikan pada hasil perhitungan ANOVA bahwa persen kontribusi parameter *feed rate* terhadap nilai akurasi dimensi dan tegangan tarik tidak melebihi angka 20%, nilai ini terlihat sangat kecil apabila dibandingkan dengan nilai kontribusi *layer heigh* yang memiliki persen kontribusi diatas 80%.

Bila membandingkan nilai *feed rate* atau kecepatan cetak yang digunakan yaitu 80% dan 100% pada nilai kekuatan tarik dapat disimpulkan bahwa menurunkan nilai *feed rate* dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik, secara teori menurunkan kecepatan cetak akan menghasilkan ikatan yang lebih baik dan menghasilkan kekuatan tarik optimum (Crystian dkk 20016). Seperti yang terlihat pada penelitian ini hasil rata-rata nilai tegangan tarik pada penggunaan *feed rate* 80% memiliki nilai sebesar 5.707 Mpa dan pada *feed rate* 100% menghasilkan nilai tegangan tarik yang lebih rendah yaitu 5.340 Mpa pada penggunaan *layer heigh* 0.4.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Parameter proses yang berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi didominasi oleh parameter *layer heigh*. Berdasarkan hasil ANOVA parameter *layer heigh* menjadi faktor yang paling berpengaruh terhadap respon dimensi w dengan nilai kontribusi sebesar 86,06 % sedangkan untuk dimensi T nilai kotribusinya sebesar 97.98% dan dimensi L dengan persen kontribusi sebesar 82.41 %
2. Parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik pada produk 3D *printing* bahan PVA berdasarkan analisis ANOVA dihasilkan oleh parameter *layer heigh* dengan nilai kontribusi sebesar 88,25%.
3. Kombinasi parameter optimal respon akurasi dimensi w yaitu *feed rate* level 1 (80%), dan *layer heigh* level 2 (0,4 mm), untuk dimensi T *feed rate* level 1 (80%), dan *layer heigh* level 2 (0,4 mm) dimensi w *feed rate* level 2 (100%), dan *layer heigh* level 2 (0,4 mm)
4. Kombinasi parameter optimal pada respon kekuatan tarik yaitu *feed rate* level 1 (80%), dan *layer heigh* level 1 (0,2 mm).

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas. T. F., Othman. F. M., Ali. H. B. (2018) Influence of Layer Thickness on Impact Property of 3D-Printed PLA. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Vol 05.
- Basavaraj, C. K., dan Vishwas, M. (2016). *Studies on Effect of Fused Deposition Modelling Process Parameters on Ultimate Tensile Strength and Dimensional Accuracy of Nylon*. *Materials Science and Engineering* Vol. 2016, 1–12.
- Budiman, W., Anggono, J., dan Tanoto, Y. (2016). Pengaruh Orientasi Obyek Hasil *Fused Deposition Modeling* Pada Waktu Proses. *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 16, 41–46.
- Badri. C., Sodri, A. (2015) Pengembangan Pencetak 3D untuk Aplikasi Medis Terutama dalam Operasi Rekonstruksi Kraniomaksilofasial. *Jurna teknik iomedis Indonesia*. Vol 2015. 1
- Christiyan, K. G., Chandrasekhar, U., dan Venkateswarlu, K. (2016). *A Study On The Influence of Process Parameters on The Mechanical Properties of 3D P rinted-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.
- 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 pr- ototypes*. *Journal of Medical Materials and Technologies*. Vol 1, 8-10.
- Lubis, S., Djamil, S., dan Yolanda. (2016). Pengaruh Orientasi Obyek Pada Proses 3D *Printing* Bahan *Polymer* PLA dan ABS Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketelitian Dimensi Produk. *SINERGI* Vol. 20, 27–35.
- 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
- Tatsuaki. T, Fukushige, K., Ogawa, E. H, N., dan Tetsuya Ozeki. (2017) *3D Printing Factors Important for the Fabrication of Polyvinylalcohol Filament-Based Tablets*. *Nagoya City : Graduate School of Pharmaceutical Sciences Universit*. Vol 40, 357–364.
- Wu. W., Ye. W., Wu. Z., Geng. P., Wang. Y dan Zhao. J. (2017) Influence of Layer Thickness, Raster Angle, Deformation Temperature and Recovery Temperature on the Shape-Memory Effect of 3D-Printed Polylactic Acid Samples. China : School of Mechanical Science and Engineering, Jilin University.