

MINIMASI *ERROR* PADA MESIN 3D PRINTER DENGAN PARAMETER MESIN

Syaeful Arief

Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Islam Negeri Sunan Kaljaga

Syaeful.arief@uin-suka.ac.id

ABSTRAK

Thermoplastic polyurethane atau TPU merupakan salah satu material polimer yang dapat digunakan pada mesin 3D Printer DLP. Pada penelitian ini dilakukan analisis parameter untuk mendapatkan kombinasi parameter untuk material TPU yang bertujuan untuk mendapatkan hasil *printing* dengan *error* dimensi terkecil. Dimensi spesimen yang digunakan mengacu pada ASTM D790-03. Perhitungan *error* dimensi didasarkan pada perbandingan hasil *printing* dengan dimensi desain. Pada hasil pengukuran didapatkan rata-rata untuk panjang sebesar 0.786, lebar sebesar 1.197 dan tinggi sebesar 9.611. Pada hasil *pilot study* didapatkan parameter pengujian yaitu parameter ET yaitu 50 μm , 70 μm dan 100 μm , sedangkan nilai *level* untuk LT yaitu 6 detik, 7 detik dan 9 detik. Hasil running dengan mencetak spesimen dengan parameter tersebut didapatkan hasil berupa berhasil mencetak spesimen dengan visual yang sama dengan desain CAD. Hasil analisis statistik didapatkan bahwa kombinasi parameter untuk mendapatkan hasil *printing* yang memiliki *error* dimensi terkecil yaitu Parameter ET dengan nilai *level* sebesar 6 detik dan parameter LT dengan nilai *level* 70 μm .

Kata Kunci *Printing*, TPU, optimasi, parameter, *error* dimensi.

PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi 3D Printer dapat digunakan diberbagai bidang, seperti pada *civil engineering* (Pettalolo, Rosid and Tontowi, 2020, 2022), kesehatan (Mpofu, Mawere and Mukosera, 2014; Zhang, Hu and Wang, 2020; Ferretti *et al.*, 2021; Rosid and Tontowi, 2021a; Unkovskiy *et al.*, 2021), manufaktur (Mpofu, Mawere and Mukosera, 2014), dan lain sebagainya (Shahrubudin, Lee and Ramlan, 2019). Salah satu Teknologi 3D Printing adalah *Digital Light Processing* (DLP) (Shahrubudin, Lee and Ramlan, 2019; Krkobabić *et al.*, 2020; Zhang, Hu and Wang, 2020; Putra *et al.*, 2021). 3D Printer DLP merupakan teknologi pembuatan benda 3 dimensi secara *layer by layer* dengan menggunakan prinsip fotopolimerisasi dengan menembakkan sinar ultraviolet (UV) dengan menggunakan *micro mirror* pada cairan resin (Unkovskiy *et al.*, 2021). Terdapat berbagai material yang dapat digunakan untuk mesin 3D Printer yang dapat digunakan, salah satunya adalah

Thermoplastic Polyurethane (TPU) (ASTM International, 2004; Lee, Eom and Lee, 2019; Mrówka, Szymiczek and Lenza, 2019; Ferretti *et al.*, 2021). TPU merupakan salah satu polimer yang memiliki karakteristik *elastometric* dan merupakan material yang umum digunakan (Baysal and Kasapbası, 2017), seperti di bidang manufaktur (Brancewicz-Steinmetz, Sawicki and Byczkowska, 2021), pertambangan (Mrówka, Szymiczek and Lenza, 2019) dan kesehatan (Ferretti *et al.*, 2021). TPU memiliki sifat elastis, tahan air, tahan abrasi dan *biocompatibility* yang baik. (Xu *et al.*, 2020).

Penelitian mengenai material TPU pada mesin 3D Printer DLP telah dilakukan oleh berbagai peneliti, seperti analisis properti mekanik untuk mendapatkan properti mekanik yang optimal dengan pendekatan optimasi (Xu *et al.*, 2020). Adapun salah satu parameter keberhasilan dalam proses printing adalah ketepatan dimensi hasil *printing* dengan desain (Rosid and Tontowi, 2021a). Maka pada penelitian ini dilakukan optimasi parameter pada mesin 3D Printer DLP untuk material TPU yang bertujuan untuk menghasilkan *error* dimensi hasil *printing* terkecil. Pendekatan yang dapat digunakan dalam *design of experiment* adalah 2^k factorial design (Montgomery, 2009; Oliveira *et al.*, 2018; Rosid and Tontowi, 2021a).

METODE PENELITIAN (TIMES NEW ROMAN)

Proses *printing* menggunakan mesin 3D Printer *Digital Light Processing* (DLP) dengan menggunakan parameter berupa ET dan LT. Adapun tahap awal dilakukan *pilot study* untuk mengetahui parameter yang digunakan untuk analisis cetak. Penentuan nilai *level* menggunakan parameter penelitian yang telah dilakukan oleh Ibrahim *et al.* (2017) yaitu untuk nilai *level* untuk ET yaitu 3 detik, 6 detik dan 9 detik, sedangkan untuk LT sebesar 50 μm , 70 μm dan 100 μm (Tabel 1).

Table 1. Design of Experiment

RunOrder	LT (μm)	ET (Detik)	RunOrder	LT (μm)	ET (Detik)	RunOrder	LT (μm)	ET (Detik)
1	50	3	10	50	3	19	50	3
2	50	6	11	50	6	20	50	6
3	50	9	12	50	9	21	50	9
4	70	3	13	70	3	22	70	3
5	70	6	14	70	6	23	70	6
6	70	9	15	70	9	24	70	9
7	100	3	16	100	3	25	100	3

RunOrder	LT (μm)	ET (Detik)	RunOrder	LT (μm)	ET (Detik)	RunOrder	LT (μm)	ET (Detik)
8	100	6	17	100	6	26	100	6
9	100	9	18	100	9	27	100	9

Perancangan kombinasi parameter dilakukan untuk mendapatkan *run time*. Tahap selanjutnya dilakukan evaluasi hasil cetak untuk mengetahui keberhasilan proses cetak melalui pengamatan secara visual dengan membandingkan hasil *printing* dengan desain CAD. Adapun variabel respon yang diukur pada penelitian ini yaitu *error* dimensi panjang, lebar dan tinggi hasil *printing* terhadap desain CAD. Penelitian ini menggunakan alat ukur berupa jangka sorong dengan ketelitian sebesar 0.02 mm. Adapun mesin yang digunakan adalah mesin 3D Printer DLP dengan material TPU 70 A. Desain spesimen menggunakan dimensi spesimen uji bending ASTM D790-03 (Gambar 1).



Gambar 1. Dimensi Spesimen

Tahap *printing* diawali dengan proses kalibrasi *bed* dengan *screen*. Kemudian dilakukan pemasangan *container* dan penginputan material ke dalam *container*. Selanjutnya dilakukan proses *setting* parameter. Adapun parameter dan *level* yang digunakan merupakan hasil dari tinjauan pustaka, yaitu berupa ET sebesar 3 detik, 6 detik dan 9 detik, sedangkan LT sebesar 50 μm, 70 μm dan 100 μm (Ibrahim, Sa'ude and Ibrahim, 2017). Hasil *printing* (spesimen) kemudian dilakukan pencucian (*washing*) dengan menggunakan alkohol 70% selama 120 detik, kemudian dilakukan *curing* menggunakan sinar UV selama 120 detik. Spesimen kemudian diukur dan dibandingkan dengan dimensi desain CAD. Selisih (*gap*) hasil pengukuran kemudian dianalisis dengan menggunakan desain eksperimen. Desain eksperimen merupakan metode *statistic* yang digunakan untuk meningkatkan dan perbaikan kualitas.

$$\text{Error dimensi} = \frac{D_p - D_d}{D_d} \quad (1)$$

Perubahan-perubahan terhadap variabel proses diharapkan dapat memberi hasil yang optimal (Iriawan and Astuti, 2006) pada *error* dimensi. Desain eksperimen diolah dengan *software* Minitab 19 untuk mendapatkan kombinasi parameter yang optimal untuk

mendapatkan *error* dimensi terkecil. Untuk menghitung *error* dimensi menggunakan selisih antara dimensi desain (D_d) dengan dimensi hasil printing (D_p) yang dibandingkan dengan dimensi desain (Rosid and Tontowi, 2021b). Desain eksperimen yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan metode Full Faktorial desain dengan jumlah replikasi sebanyak 3 kali sehingga didapatkan sejumlah 27 *runtime*. Analisis statistik diperlukan untuk mengetahui pengaruh faktor terhadap respon.

1. Hipotesis *error* dimensi

a. Pengaruh Tipe *LT* terhadap error dimensi

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$$

Tipe *LT* tidak berpengaruh terhadap dimensi *error* panjang

H_1 : paling sedikit satu $\tau_i \neq 0$ $i=1,2,3$

Tipe *LT* berpengaruh terhadap dimensi *error* panjang

b. Pengaruh tipe *ET* terhadap error dimensi

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

Tipe tipe *ET* tidak berpengaruh terhadap dimensi error panjang

H_1 : paling sedikit satu $\beta_j \neq 0$ $j=1,2,3$

Tipe tipe *ET* berpengaruh terhadap dimensi error

c. Pengaruh interaksi antar faktor terhadap error dimensi panjang

$$H_0: (\tau\beta)_{ij} = 0 \text{ untuk semua } i, j$$

interaksi antar factor tidak berpengaruh terhadap dimensi error panjang

$$H_1: (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

interaksi antar factor berpengaruh terhadap dimensi error panjang

2. Daerah penolakan

Apabila p-value kurang dari α (0,05) maka tolak H_0

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengumpulan data didapatkan jumlah pengukuran untuk dimensi panjang sebesar 81 data, lebar dan tinggi sebesar 135 data pengukuran. Hasil data tersebut kemudian diukur *error* dimensinya dengan cara dibandingkan dengan dimensi acuan, yaitu gambar CAD.

Hasil rata-rata pengukuran untuk *error* dimensi panjang yaitu 0.786, *error* dimensi lebar sebesar 1.197 dan *error* dimensi tinggi sebesar 9.611. Pada hasil *pilot study* didapatkan

hasil cetak dengan jumlah kegagalan untuk *ET* 3 detik sejumlah 7 spesimen (77,7 %) gagal cetak, *ET* 6 detik dan 9 detik tidak terjadi kegagalan hasil cetak. Sehingga ditentukan perubahan nilai *level* untuk parameter *ET* 3 menjadi 7 detik, penentuan tersebut didasarkan pada rentang parameter yang menghasilkan hasil cetak yang berhasil yaitu antara 6 detik hingga 9 detik.

Table 3. *Pilot Study* Pengujian Nilai *Level* Parameter

RunOrder	LT (μm)	ET (Detik)	Hasil
1	50	3	Gagal
2	50	6	Berhasil
3	50	9	Berhasil
4	70	3	Gagal
5	70	6	Berhasil
6	70	9	Berhasil
7	100	3	Gagal
8	100	6	Berhasil
9	100	9	Berhasil
10	50	3	Gagal
11	50	6	Berhasil
12	50	9	Berhasil
13	70	3	Berhasil
14	70	6	Berhasil
15	70	9	Berhasil
16	100	3	Gagal
17	100	6	Berhasil
18	100	9	Berhasil
19	50	3	Gagal
20	50	6	Berhasil
21	50	9	Berhasil
22	70	3	Berhasil
23	70	6	Berhasil
24	70	9	Berhasil
25	100	3	Gagal
26	100	6	Berhasil
27	100	9	Berhasil

Hasil penentuan nilai level pada parameter dari *pilot study* yaitu dengan *ET* dengan nilai *level* sebesar 6 detik, 7 detik dan 9 detik dan parameter *LT* sebesar 50 μm , 70 μm dan 100

μm dilakukan pembuatan *design of experiment* dengan menggunakan *factorial design* (Table 4). Hasil dari proses *design of experiment* didapatkan 27 *run time*. Kemudian dilakukan *printing* dan analisis statistik sesuai dengan kombinasi parameter tersebut.

Table 4. Error Dimensi

Run Order	Level		LT (μm)	ET (Detik)	Error Dimensi		
	LT	ET			Panjang	Lebar	Tinggi
1	-1	-1	50	6	1,025	2,331	7,125
2	-1	0	50	7	1,133	1,606	5,625
3	-1	+1	50	9	0,917	1,512	8,375
4	0	-1	70	6	0,308	0,976	5,250
5	0	0	70	7	0,842	1,102	17,125
6	0	+1	70	9	0,417	0,913	12,75
7	+1	-1	100	6	0,525	1,685	7,875
8	+1	0	100	7	0,875	1,134	7,375
9	+1	+1	100	9	0,800	0,913	9,375
10	-1	-1	50	6	1,450	1,575	5,375
11	-1	0	50	7	1,092	0,913	5,000
12	-1	+1	50	9	1,025	1,039	8,750
13	0	-1	70	6	0,442	0,409	11,125
14	0	0	70	7	0,833	1,323	8,875
15	0	+1	70	9	0,950	0,850	12,375
16	+1	-1	100	6	1,158	1,732	8,250
17	+1	0	100	7	0,725	1,071	4,125
18	+1	+1	100	9	0,867	1,008	13,250
19	-1	-1	50	6	0,925	2,016	5,250
20	-1	0	50	7	0,867	1,039	7,750
21	-1	+1	50	9	0,717	1,071	13,750
22	0	-1	70	6	0,083	0,850	18,000
23	0	0	70	7	0,516	1,354	10,125
24	0	+1	70	9	0,616	0,976	17,000
25	+1	-1	100	6	0,716	1,354	13,250
26	+1	0	100	7	0,591	0,882	7,375
27	+1	+1	100	9	0,808	0,693	9,000

Pada hasil pengukuran didapatkan besar *error* dimensi terendah untuk panjang sebesar 0.083, lebar sebesar 0.409 dan tinggi sebesar 4.125, sedangkan untuk rata-rata *error* dimensi terbesar untuk panjang yaitu sebesar 1.45, lebar sebesar 2.331 dan tinggi sebesar 18.000. sedangkan hasil pengukuran rata-rata untuk panjang sebesar 0.786, lebar sebesar 1.197 dan tinggi sebesar 9.611. Hasil dari analisis factorial desain didapatkan bahwa terdapat

2 faktor dan 1 iteraksi sehingga terdapat 3 hipotesis yang dirumuskan, yaitu hipotesis pengaruh *LT*, *ET*, dan pengaruh iteraksi antar *LT* dan *ET* pada masing-masing respon *error* dimensi panjang, lebar, dan tinggi.

1. Analisis Respon Panjang

Hasil analisis dengan menggunakan Minitab didapatkan hasil analisis ANOVA dengan didapatkan nilai ANOVA untuk model ET dan ET serta 2-way *interactions* LT dengan ET. Serta didapatkan nilai P-Value untuk setiap parameter (Table 5).

Table 5. ANOVA Panjang vs LT dan ET

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	1,41667	0,17708	4,09	0,006
Linear	4	0,99262	0,24816	5,74	0,004
LT	2	0,95298	0,47649	11,01	0,001
ET	2	0,03965	0,01982	0,46	0,640
2-Way Interactions	4	0,42404	0,10601	2,45	0,083
LT*ET	4	0,42404	0,10601	2,45	0,083
Error	18	0,77875	0,04326		
Total	26	2,19542			

Hasil analisis of varians pada table 3 didapatkan bahwa nilai p-value pada *LT* <0,05 (Table 5). Sehingga H_0 ditolak. Hal tersebut dapat diartikan bahwa *LT* berpengaruh signifikan terhadap error dimensi panjang. Sedangkan parameter pada *ET* serta iteraksi antara *LT* dan *ET* memiliki nilai p-value >0,05 sehingga dapat dikatakan bahwa *ET* serta iteraksi antara *LT* dan *ET* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap error dimensi panjang. Berikut ini merupakan persamaan model regresi untuk respon error dimensi panjang hasil perhitungan dengan Minitab.

$$\begin{aligned} \text{Err. P} = & 0,7861 + 0,2306 \text{ LT}_{50} - 0,2296 \text{ LT}_{70} - 0,0009 \text{ LT}_{100} - 0,0491 \text{ ET}_6 + 0,0444 \\ & \text{ET}_7 + 0,0046 \text{ ET}_9 + 0,1657 \text{ LT*ET}_{50\ 6} - 0,0306 \text{ LT*ET}_{50\ 7} - 0,1352 \text{ LT*ET}_{50\ 9} \\ & - 0,2296 \text{ LT*ET}_{70\ 6} + 0,1296 \text{ LT*ET}_{70\ 7} + 0,1000 \text{ LT*ET}_{70\ 9} + 0,0639 \\ & \text{LT*ET}_{100\ 6} - 0,0991 \text{ LT*ET}_{100\ 7} + 0,0352 \text{ LT*ET}_{100\ 9} \end{aligned}$$

Analisis pengaruh parameter terhadap respon Nilai R-sq pada model summary sebesar 64,53% dapat dikatakan bahwa model mampu menjelaskan keragaman data sebesar 64,53% (Table 6).

Table 6. Model Summary error dimensi panjang

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,208000	64,53%	48,76%	20,19%

2. Analisis Respon Lebar

Hasil analisis dengan menggunakan Minitab didapatkan hasil analisis ANOVA dengan didapatkan nilai ANOVA untuk model ET dan ET serta 2-way *interactions* LT dengan ET. Serta didapatkan nilai P-Value untuk setiap parameter (Table 7).

Table 7. ANOVA Lebar vs LT dan ET

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	3,5413	0,44266	7,29	0,000
Linear	4	1,9620	0,49049	8,08	0,001
LT	2	1,0721	0,53604	8,83	0,002
ET	2	0,8899	0,44494	7,33	0,005
2-Way Interactions	4	1,5793	0,39483	6,50	0,002
LT*ET	4	1,5793	0,39483	6,50	0,002
Error	18	1,0929	0,06071		
Total	26	4,6341			

Dari hasil analisis of varians pada table 9 didapatkan bahwa nilai p-value pada LT, ET serta iteraksi antara LT dan exposure < 0,05. Sehingga H_0 ditolak. Hal tersebut dapat diartikan bahwa LT, ET serta iteraksi antara LT dan ET berpengaruh signifikan terhadap error dimensi lebar. Adapun pada tahap ini juga didapatkan persamaan regresi untuk Error Dimensi Lebar.

$$\begin{aligned} \text{Err. L} = & 1,1974 + 0,2584 \text{ LT}_{50} - 0,2246 \text{ LT}_{70} - 0,0338 \text{ LT}_{100} + 0,2391 \text{ ET}_6 \\ & - 0,0391 \text{ ET}_7 - 0,2001 \text{ ET}_9 + 0,2788 \text{ LT*ET}_{50\ 6} - 0,2304 \text{ LT*ET}_{50\ 7} \\ & - 0,0484 \text{ LT*ET}_{50\ 9} - 0,4666 \text{ LT*ET}_{70\ 6} + 0,3260 \text{ LT*ET}_{70\ 7} + 0,1406 \text{ LT*ET}_{70\ 9} \\ & + 0,1878 \text{ LT*ET}_{100\ 6} - 0,0957 \text{ LT*ET}_{100\ 7} - 0,0922 \text{ LT*ET}_{100\ 9} \end{aligned}$$

Nilai R-sq pada model summary sebesar 76,4% dapat dikatakan bahwa model mampu menjelaskan keragaman data sebesar 76,4% pada error dimensi lebar.

Table 8 Model Summary Error Dimensi Lebar

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,246607	76,40%	65,91%	46,89%

3. Analisis Respon Tinggi

Hasil analisis dengan menggunakan Minitab didapatkan hasil analisis ANOVA dengan didapatkan nilai ANOVA untuk model ET dan ET serta 2-way *interactions* LT dengan ET. Serta didapatkan nilai P-Value untuk setiap parameter (Table 9).

Table 9. ANOVA Tinggi Dibanding LT dan ET

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	201,40	25,174	2,33	0,065
Linear	4	181,38	45,345	4,19	0,014
LT	2	122,96	61,481	5,68	0,012
ET	2	58,42	29,210	2,70	0,094
2-Way Interactions	4	20,01	5,003	0,46	0,762
LT*ET	4	20,01	5,003	0,46	0,762
Error	18	194,68	10,815		
Total	26	396,07			

Dari hasil analisis of varians pada table 7 didapatkan bahwa nilai p-value pada LT < 0,05. Sehingga H_0 ditolak. Hal tersebut dapat diartikan bahwa LT berpengaruh signifikan terhadap error dimensi tinggi. Sedangkan pada ET serta iteraksi antara LT dan ET memiliki nilai p-value > 0,05 sehingga dapat dikatakan tipe LT serta iteraksi LT dan ET tidak berpengaruh signifikan terhadap error dimensi tinggi.

$$\begin{aligned}
 \text{Err. T} = & 9,611 - 2,167 \text{ LT}_{50} + 2,903 \text{ LT}_{70} - 0,736 \text{ LT}_{100} - 0,556 \text{ ET}_6 - 1,458 \text{ ET}_7 \\
 & + 2,014 \text{ ET}_9 \\
 & - 0,97 \text{ LT*ET}_{50\ 6} + 0,14 \text{ LT*ET}_{50\ 7} + 0,83 \text{ LT*ET}_{50\ 9} - 0,50 \text{ LT*ET}_{70\ 6} \\
 & + 0,99 \text{ LT*ET}_{70\ 7} \\
 & - 0,49 \text{ LT*ET}_{70\ 9} + 1,47 \text{ LT*ET}_{100\ 6} - 1,13 \text{ LT*ET}_{100\ 7} - 0,35 \text{ LT*ET}_{100\ 9}
 \end{aligned}$$

Nilai R-sq pada model summary sebesar 50,85% dapat dikatakan bahwa model mampu menjelaskan keragaman data sebesar 50,85% pada error dimensi tinggi.

Table 10. Model Summary Error Dimensi Lebar

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3,28868	50,85%	29,00%	0,00%

4. Graphical Results

Hasil analisis dengan menggunakan Minitab, didapatkan hasil *main effect plot* untuk respon panjang, lebar dan tinggi. Pada tahap ini didapatkan juga plot interaksi untuk setiap respon.

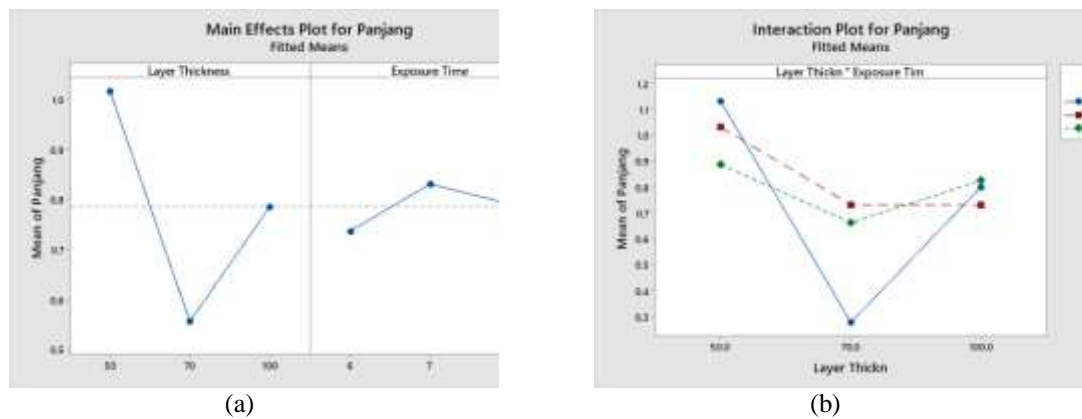


Figure 2. (a) Efek utama plot error dimensi panjang dan (b) Efek iterkasi plot error dimensi Panjang Pada plot *main effects* panjang didapatkan bahwa Efek utama pada parameter leyer thickness 70 nm dan parameter ET 6 detik menghasilkan rata-rata error dimensi panjang terkecil. Selain itu iteraksi antara LT 70 nm dan ET 6 detik menghasilkan nilai rata-rata error dimensi Panjang terkecil (Figure 2).

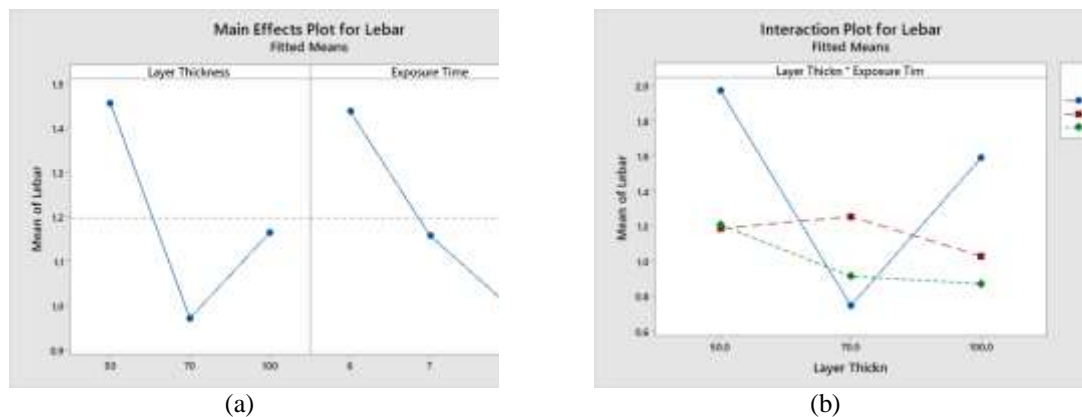


Figure 3. a) Efek utama plot error dimensi lebar dan (b) Efek iterkasi plot error dimensi lebar

Efek utama pada parameter LT 70 nm dan parameter ET 9 detik menghasilkan rata-rata error dimensi lebar terkecil. Selain itu iterkasi antara LT 70nm dan ET 6 detik menghasilkan nilai rata-rata error dimensi Lebar terkecil (Figure 3).

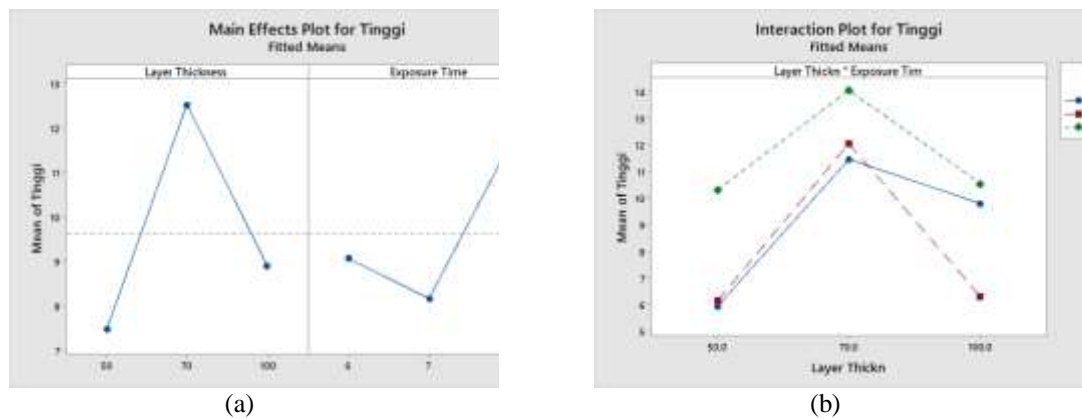


Figure 4. a) Efek utama plot error dimensi tinggi dan (b) Efek interaksi plot error dimensi tinggi

Efek utama pada parameter LT 50 μm dan parameter ET 7 detik menghasilkan rata-rata error dimensi tinggi terkecil. Selain itu interaksi antara LT 50 μm dan ET 6 detik menghasilkan nilai rata-rata error dimensi tinggi terkecil (Figure 4).

Pembahasan

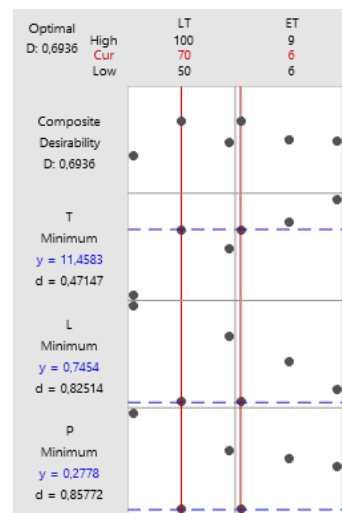
Hasil pengolahan optimasi didapatkan kombinasi optimal untuk menghasilkan error dimensi terkecil pada dimensi panjang, lebar, dan tinggi yaitu parameter level LT sebesar 70 μm dan ET 6 detik. (Table 11).

Table 11 Hasil Optimasi untuk error dimensi terkecil pada dimensi Panjang, Lebar, dan Tinggi

<i>Solution</i>	LT	ET	T-Fit	L-Fit	P-Fit	<i>Composite Desirability</i>
1	70	6	11,4583	0,745407	0,277778	0,693601

Hasil optimasi didapatkan kombinasi parameter untuk mendapatkan *error* dimensi respon terkecil. Adapun kombinasi tersebut terdiri atas nilai *level* untuk LT sebesar 70 μm dan nilai *level* untuk ET sebesar 6 detik.

Figure 5 Plot setting optimal error dimensi panjang, lebar, dan tinggi.



KESIMPULAN DAN IMPLIKASI

Pada hasil pengukuran didapatkan rata-rata untuk panjang sebesar 0.786, lebar sebesar 1.197 dan tinggi sebesar 9.611. Hasil analisis of varians pada *error* dimensi panjang didapatkan bahwa LT berpengaruh signifikan terhadap error dimensi panjang, ET serta interaksi antara LT dan ET tidak berpengaruh secara signifikan terhadap error dimensi panjang. Pada ANOVA untuk dimensi lebar didapatkan LT, ET serta interaksi antara LT dan ET berpengaruh signifikan terhadap error dimensi lebar. Pada ANOVA untuk *error* dimensi tinggi didapatkan bahwa LT berpengaruh signifikan terhadap error dimensi tinggi, LT serta interaksi LT dan ET tidak berpengaruh signifikan terhadap error dimensi tinggi. Pada analisis *level* dan parameter dengan menggunakan metode *factorial design* pada mesin 3D Printer DLP untuk material TPU menggunakan nilai untuk *level* parameter ET yaitu 50 μm , 70 μm dan 100 μm , sedangkan nilai *level* untuk LT yaitu 6 detik, 7 detik dan 9 detik. Hasil running dengan mencetak spesimen dengan parameter tersebut didapatkan hasil berupa berhasil mencetak spesimen dengan visual yang sama dengan desain CAD. Adapun hasil analisis statistik didapatkan kombinasi parameter untuk menghasilkan *error* dimensi terkecil yaitu untuk nilai *level* parameter ET sebesar 6 detik dan nilai *level* untuk parameter LT sebesar 70 μm .

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International (2004) 'Standard Classification System for Specifying Plastic Materials', *ASTM International*. ASTM International, pp. 1–12.

- Baysal, G. and Kasapbası, E. (2017) 'Polyurethanes and Usage Areas', *Global Journals Inc. (USA)*, 17(1), pp. 29–36.
- Brancewicz-Steinmetz, E., Sawicki, J. and Byczkowska, P. (2021) 'The Influence of 3D Printing Parameters on Adhesion Between Polylactic Acid (Pla) and Thermoplastic Polyurethane (tpu)', *Materials*, 14(21). doi: 10.3390/ma14216464.
- Ferretti, P. *et al.* (2021) 'Application of TPU-sourced 3d printed FDM organs for improving the realism in surgical planning and training', in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. 6658–6669.
- Ibrahim, A., Sa'ude, N. and Ibrahim, M. (2017) 'Optimization of Process Parameter for Digital Light Processing (DLP) 3D Printing', *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, 5(6), pp. 116–119.
- Iriawan, N. and Astuti, S. P. (2006) *Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Edited by O. H. Sudiyarto. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Krkobabić, M. *et al.* (2020) 'Digital Light Processing (DLP) 3D Printing of Atomoxetine Hydrochloride Tablets Using Photoreactive Suspensions', *Pharmaceutics*, 12(9), pp. 1–17. doi: 10.3390/pharmaceutics12090833.
- Lee, H., Eom, R. I. and Lee, Y. (2019) 'Evaluation of the Mechanical Properties of Porous Thermoplastic Polyurethane Obtained by 3D Printing for Protective Gear', *Advances in Materials Science and Engineering*. Hindawi, 2019. doi: 10.1155/2019/5838361.
- Montgomery, D. C. (2009) *Introduction To Statistical Quality Control*. Sixth. Missouri: Wiley.
- Mpofu, T. P., Mawere, C. and Mukosera, M. (2014) 'The Impact and Application of 3D Printing Technology', *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3(6), pp. 2148–2152.
- Mrówka, M., Szymiczek, M. and Lenza, J. (2019) 'Thermoplastic Polyurethanes for Mining Application Processing by 3D Printing', *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 95(1), pp. 13–19. doi: 10.5604/01.3001.0013.7620.
- Oliveira, M. de *et al.* (2018) 'Experimental Planning Factorial: A brief Review', *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(6), pp. 166–177. doi: 10.22161/ijaers.5.6.28.
- Pettalolo, A. N. Y., Rosid, I. A. and Tontowi, A. E. (2020) 'Pengembangan Material Reusable Concrete untuk 3DP Building', in *Conference SENATIK STT Adisutjipto*

- Yogyakarta, pp. 59–66. doi: 10.28989/senatik.v6i0.414.
- Pettalolo, A. N. Y., Rosid, I. A. and Tontowi, A. E. (2022) ‘Pengembangan Mesin 3D Printing Bangunan Untuk Material Sisa Reruntuhan Bangunan’, *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*, 10(1), pp. 122–133. doi: <https://doi.org/10.37971/radial.v10i1.226>.
- Putra, D. P. *et al.* (2021) ‘Optimization of Production Process Parameters of DLP Type 3D Printer Design for Product Roughness Value’, in *Proceedings of the 4th Forum in Research, Science, and Technology (FIRST-T1-T2-2020)*, pp. 179–183. doi: 10.2991/ahe.k.210205.031.
- Rosid, I. A. and Tontowi, A. E. (2021a) ‘Parameter Optimization of Customized FDM 3D Printer Machine for Biocomposite Material [Sago/PMMA] Using 2k Fractional Factorial Design’, *OPSI*, 14(2), pp. 188–196. doi: <https://doi.org/10.31315/opsi.v14i2.5352>.
- Rosid, I. A. and Tontowi, A. E. (2021b) ‘Parameter Optimization of Customized FDM 3D Printer Machine for Biocomposite Material [Sago/PMMA] Using 2k Fractional Factorial Design’, *Opsi*, 14(2), p. 188. doi: 10.31315/opsi.v14i2.5352.
- Seprianto, D., Hidayat, N. and Ginting, M. (2021) ‘Penyimpangan Dimensi Proses Produksi Gear dengan Menggunakan Teknologi DLP (Digital Light Processing) 3D Printer’, *Austenit*, 13(1), pp. 13–17.
- Shahrubudin, N., Lee, T. C. and Ramlan, R. (2019) ‘An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications’, in *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., pp. 1286–1296. doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.089.
- Unkovskiy, A. *et al.* (2021) ‘Stereolithography Vs. Direct Light Processing For Rapid Manufacturing Of Complete Denture Bases: an In Vitro Accuracy Analysis’, *Journal of Clinical Medicine*, 10(5), pp. 1–14. doi: 10.3390/jcm10051070.
- Xu, T. *et al.* (2020) ‘Mechanical properties of additively manufactured thermoplastic polyurethane (TPU) material affected by various processing parameters’, *Polymers*, 12(12), pp. 1–16. doi: 10.3390/polym12123010.
- Zhang, J., Hu, Q. and Wang, S. (2020) ‘Digital light processing based 3D printing for medical applications’, *Int J Bioprint*, 6(1), pp. 1–16. doi: 10.18063/ijb.v6i1.1.