Optimasi Multirespon pada Proses 3D Printing Material ABS dengan Metode Taguchi-PCR Topsis

by Yopi Yusuf Tanoto

Submission date: 28-Aug-2022 09:51AM (UTC+0700)
Submission ID: 1888020135
File name: Optimasi_Multirespon_pada_Proses_3D_Printing_Material_ABS.docx (2.68M)
Word count: 4339
Character count: 27484

Optimasi Multirespon pada Proses 3D *Printing* Material ABS dengan Metode Taguchi-PCR Topsis

Yopi Yusuf Tanoto*, Vincensius Filbert, Ronaldo Febrian, Nicholas Adriel

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya, Indonesia, 60236

Abstrak

Teknologi 3D printing atau yang umum disebut sebagai additive manufacturing merupakan salah satu metode rapid prototyping yang saat ini semakin luas digunakan. Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) merupakan salah satu jenis material yang penggunaannya cukup masif dalam teknologi 3D printing. Penelitian ini menggunakan metode desain eksperimen orthogonal arrays L9 (3^3). Adapun parameter proses yang digunakan adalah temperature nozzle, temperature base plate/bed dan orientasi, serta dengan tiga variasi level pada setiap parameter proses (230°C, 240°C, 250°C, 90°C, 100°C, 110°C, 0°, 45°, 90°). Penelitian ini bertujuan untuk mencari parameter proses yang paling optimal terhadap hasil respon waktu pengerjaan, sifat mekanik kekuatan lentur, dan akurasi dimensi. Parameter tersebut digunakan untuk kombinasi metode Taguchi dan PCR-TOPSIS dalam menyelesaikan persoalan multirespon. Berdasarkan hasil analisis ANOVA, parameter dengan level yang menghasilkan respon gabungan paling optimal adalah terletak pada spesimen kondisi ke-3 (yaitu dengan nilai temperature nozzle sebesar 230°C; temperature base plate/bed sebesar 110°C; dan arah orientasi printing sebesar 90°). Untuk hasil analisis dari PCR-Topsis terhadap 3 parameter proses dimana parameter yang memiliki pengaruh yang paling tinggi secara berurutan adalah orientasi 33%, temperature base plate/bed 28% dan temperature nozzle 18%.

Kata kunci: *3D printing; ABS material; akurasi dimensi; desain faktorial; kekuatan lentur; multirespon; orientasi; pcr-topsis; taguchi; waktu pengerjaan*

Abstract

[Title: Multi response Optimazion In 3D Printing ABS Materials With Taguchi-PCR Topsis Method] *The use of 3D printing technology, commonly referred to as additive manufacturing, is increasingly widespread as a rapid prototyping method. Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) is one type of material whose use is quite massive in 3D printing technology. In this study, nine experiments were carried out using the experimental design method orthogonal arrays L9 (3^3), and three process parameters were used, namely nozzle temperature, base plate/bed temperature, and orientation, as well as with three levels of variation for each process parameter (230oC, 240oC, 250oC, 90oC, 100oC, 110oC, 0o, 45o, 90o). This study aimed to find the optimal process parameters for the processing response time, mechanical properties of flexural strength, and dimensional accuracy. Thus, a combination of the Taguchi and PCR-TOPSIS methods was used to solve the multiresponse problem. Based on the results of ANOVA analysis, the parameter with the level that produces the most optimal combined response is located in the third condition specimen (that is, the nozzle temperature value is 230°C; the base plate/bed temperature is 110°C, and the printing orientation direction is 90°). For the results of the PCR-Topsis analysis on three process parameters where the parameters that have the highest influence in sequence are orientation at 33%, bed temperature at 28%, and nozzle temperature at 18%*

Keywords: *3D printing; ABS material; dimensional accuracy; factorial design; flexural strength; multiresponse; orientation; pcr-topsis; taguchi; machining time*

*) Penulis Korespondensi.
E-mail: c12180040@john.petra.ac.id

1. Pendahuluan

Saat ini, perkembangan teknologi dalam bidang manufaktur berkembang dengan semakin pesat. Munculnya 3D *printing* sebagai salah satu pilihan untuk memproduksi sebuah benda merupakan bagian dari perkembangan tersebut. Proses 3D *printing* adalah proses dimana sebuah obyek padat dihasilkan dari sebuah file digital. Proses pembuatan obyek tiga dimensi ini merupakan bagian dari *additive process* (Mahamood dkk., 2016). Teknologi 3D *printing* yang menggunakan *additive manufacturing process*, dimana produk dibuat atau dicetak berdasarkan lapis demi lapis (*layer by layer*) dengan serangkaian *cross sectional slices* (Berman, 2012). Adapun hal yang perlu diperhatikan sebelum proses pencetaka berlangsung, yaitu membuat pemrogramannya terlebih dahulu agar hasil cetakan sesuai dengan yang diinginkan. Lebih lanjut, terdapat berbagai te logi *additive manufacturing* yang telah digunakan baik oleh industri besar aupun industri rumah tangga, diantaranya adalah *fused deposition modeling* (FDM), *selective lasersintering* (SLS), *direct metal deposition* (DMD), dan *inkjet modeling* (IJM) (Mohamed dkk., 2014).

Dari berbagai macam teknologi *additive manufacturing* yang paling sering gunakan adalah *Fused Deposition Modeling* (FDM). Hal ini bisa dilihat dari banyaknya pengembangan teknologi FDM ini untuk berbagai bidang yaitu seperti: pembuatan *dummy*, arsitektur, industri manufaktur, makanan, industri otomotif, *fashion*, kesehatan, dan masih banyak l di bidang lainnya (Taufik, 2020). Cara kerja dari FDM adalah dengan cara mengekstrusikan bahan *thermoplastic* melalui *extruder* yang panas pada *rheology temperature*. Selanjutnya produk disusun lapis demi lapis. ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) dan PLA (*Poly Lactide Acid*) merupakan jenis material yang paling sering digunakan. Akurasi dari produk yang dihasilkan dengan bahan tersebut penting untuk diketahui (Pristiansyah, 2019). Dengan teknologi FDM, produk duplikat dari bahan ABS dapat dibuat dengan bentuk dan dimensi yang sama dari produk contohnya (Satyanarayana, 2015).

Pengaruh parameter proses FDM berbahan ABS terhadap kekuatan telah dipelajari oleh Supphachai dan Worrasid. Dari penelitianm tersebut, ditem an nilai dari masing-masing paremeter (orientasi, *layer height*, *printing speed*, *nozzle temperature* dan *bed temperature*) yang menghasilkan nilai *compressive yield stress* terbaik. (Supphachai dan Worrasid, 2021).

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Dizon dkk (2017), juga telah membahas mengenai bagaimana sifat mekanik dari ABS dan PLA dengan mengunakan FDM. Adapun sample yang dibuat mengacu pada ASTM D790 tentang kekuatan *flexural*. Pada pe itian tersebut menggunakan temperatur proseses yang difokuskan pada perbedaan temperatur setiap lapisannya, ketebalan, *fill density*, *travel speed* pada pembuatan produknya sebagai parameter yang diuji. Dari percobaan dan Analisa, disimpulkan bahwa ketebalan dari spesimen dapat mempengaruhi hasil pengujian lentur pada material ABS.

Lalu, pada penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Christiyan dkk (2016), ABS diaplikasikan pada uji kekuatan tarik d lentur. Parameter proses yang digunakan adalah ketebalan lapisan (0,2 mm, 0,25 mm, 0,3 mm) dan kecepatan pencetakan 30 mm/s, 40 mm/s dan 50 mm/s serta *temperature nozzle* 190°C. Studi teresebut menggunakan metode Taguchi untuk mencari respon yang paling optimal.

Kemudian pada penelitian yang juga dilakukan sebelumnya oleh Tanoto dan Fefe juga membahas mengenai FDM lebih mendalam. Pada penelitian ini menggunakan 4 parameter dengan 3 tingkatan vel yang berbeda. Parameter yang digunakan adalah *orientation position*, *fill pattern*, *fill density* dan *layer thickness*. Penelitian ini menggunakan s imen dengan tipe ASTM D 790-2010 dengan dimensi 120 mm x 15 mm x 15 mm (Tanoto, Fefe, 2021). Pada penelitian ini juga merupakan optimasi *single* respon dengan menggunakan metode taguchi untuk mencari hasil yang terbaik.

Jadi dari ketiga penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu belum ditemukan penelitian yang membahas tentang optimasi multirespon pada proses 3D *nting* melainkan hanya optimasi *single* respon saja. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai FDM yang lebih dalam de an menggunakan metode optimasi multirespon. Pada penelitian ini akan membahas dan menganalisa mengenai sifat mekanik kekuatan lentur pada objek hasil 3D *printing* dengan prinsip FD M dengan 3 parameter dan 3 level yang berbeda. Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *nozzle temperature*, *base plate/bed temperature* dan orientasi. Material yang digunakan adalah *filament* ABS dan untuk metode penelitiannya yaitu dengan pendekatan metode optimasi multirespon Taguchi-PCR Topsis. Sehingga, dengan adanya penelitian ini dapat diperoleh nilai hasil waktu pengerjaan, akurasi dimensi, dan kekuatan lentur (*flexural strength*) yang paling optimal pada saat proses *printing*.

2. Bahan dan Metode

Pada penelitian ini metode *design of experiment* (DOE) digunakan untuk menentukan variasi parameter dalam pembuatan spesimen. Lewat metode ini, dapat ditentukan data variasi parameter untuk menentukan jumlah eksperimen dan mendapatkan informasi factor mana saja yang memiliki pengaruh maupun terhadap respon yang diamati.

Tabel 1. Parameter proses 3d *printing* beserta levelnya

Parameter	Unit	Level		
		1	2	3
Nozzle Temp (Nt)	°C	230	240	250
Bed Temp (Bt)	°C	90	100	110
Orientation (O)	derajat	0	45	90

Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi parameter dan tiga level. Parameter yang digunakan antara adalah *nozzle temperature* (°C), *base plate/bed temperature* (°C), dan orientasi (°). Nilai dari masing-masing level dari setiap parameter yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan dari spesifikasi data material ABS, dan juga dari studi literatur penelitian terdahulu. Kemudian untuk parameter proses beserta levelnya yang akan digunakan pada saat proses *printing* dapat dilihat pada tabel 1.

Pada penentuan parameter *temperature* yang digunakan dalam proses pencetakan spesimen, dimana akan mengacu pada filamen yang digunakan pada penelitian ini, yaitu material ABS sebagai filamen. Untuk spesifikasi dan gambar dari filamen ABS dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 1.

Rincian parameter yang digunakan adalah (1) *Nozzle Temperature,* yang ditentukan dari level *temperature* yang digunakan, yaitu level satu pada 230°C, level dua adalah 240°C, dan level tiga pada 250°C, (2) *Base Plate/Bed Temperature,* yang ditentukan dari level *temperature* yang digunakan, yaitu level satu menggunakan 90°C, level dua adalah 100°C, sedangkan untuk level tiga sebesar 110°C; (3) *Orientation,* dimana tiga arah orientasi yang berbeda diterapkan dalam proses pencetakan polimer ABS yaitu 0° (orientasi pertama), 45° (orientasi kedua), dan 90° (orientasi ketiga).

Adapun variable respon dari produk yang akan diamati atau diukur yaitu meliputi waktu proses pencetakan, akurasi dimensi produk, dan juga kekuatan uji lentur. Untuk hasil dari kekuatan uji lentur, akurasi dimensi produk, serta waktu proses pencetakan dapat dianalisis menggunakan metode Taguchi-PCR Topsis. Lalu, untuk ANOVA dapat digunakan untuk menganalisa pengaruh dari parameter dan levelnya terhadap respon.

Tabel 2. Spesifikasi Filamen ABS merk Sunlu

Spesifikasi	Nilai
Material	ABS
Diameter	1.75 mm
Warna	Grey / Abu-Abu
Berat Bersih	1 kg
Temperature Print	230 – 250 8C

Desain eksperimen pada penelitian ini dibuat menggunakan aplikasi Minitab. Pada penelitian ini digunakan *array orthogonal* (AO) L9 (3^3) (Rika, dkk., 2020). Percobaan dilakukan sebanyak sembilan kali dengan 5 replikasi dengan nilai dari masing-masing parameternya yang dapat dilihat pada tabel 3.

Setelah rancangan matriks *orthogonal* dibuat, kemudian dilakukan desain pada spesimen menggunakan *software* Inventor 2019. Desain dibuat menggunakan format .STL sebagai format yang dapat dikonversi oleh *software slicing* yaitu menggunakan Cura 4.10.0, sehingga bisa menjadi desain siap cetak dan selanjutnya akan diatur kedalam parameter proses pencetakan. Untuk desain spesimen yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada ASTM D790 (125 x 12.7 x 3.2 mm) untuk uji *flexural* sesuai dengan standar ASTM Internasional D790-03 tahun 2003 yang dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.

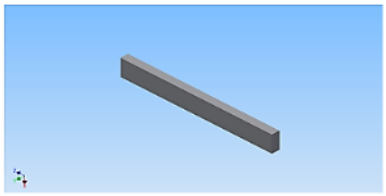
Pada penelitian ini posisi tidur dipilih pada saat melakukan proses *printing*, dikarenakan memiliki hasil pengujian uji lentur paling baik serta minim terjadinya pengangkatan atau gagal pencetakan. Kemudian, untuk arah orientasi yang digunakan yaitu terdiri dari 3 arah (0°, 45°, dan 90°) seperti pada gambar 4.

Gambar 1. Filamen ABS merk Sunlu diameter 1.75mm

Tabel 3. Matriks Orthogonal L9 (3^3)

	Nozzle Temp	Bed Temp	Orientation
1	230	90	0
2	230	100	45
3	230	110	90
4	240	90	45
5	240	100	90
6	240	110	0
7	250	90	90
8	250	100	0
9	250	110	45

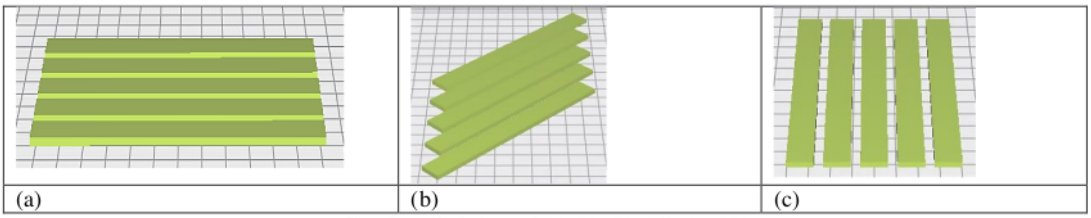
Gambar 2. Spesimen ASTM D790



Gambar 3. Desain CAD spesimen

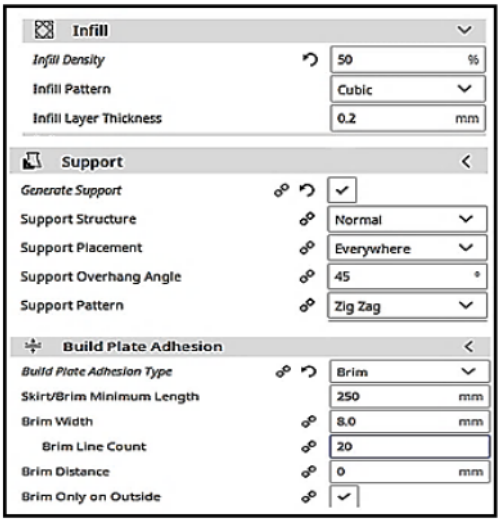
Untuk pengaturan pada aplikasi Cura juga harus

Selanjutnya, untuk melakukan pengaturan *Nozzle*



Gambar 4. Orientasi (a) 0°, (b) 45°, (c) 90°

diperhatikan dengan baik serta tidak boleh dirubah-dirubah ketika sudah ditemukan pengaturan yang sesuai, maka pengaturan itu yang akan digunakan hingga proses pencetakan dari kondisi 1 hingga kondisi 9 selesai. Pengaturan yang digunakan pada saat proses *printing* percobaan ini adalah sebagai berikut: *Support* (*on*), *Adhesion* (*on*), *Infill layer thickness* (0.2 mm), *Infill density* (50%), *Infill pattern* (*cubic*) atau dapat dilihat

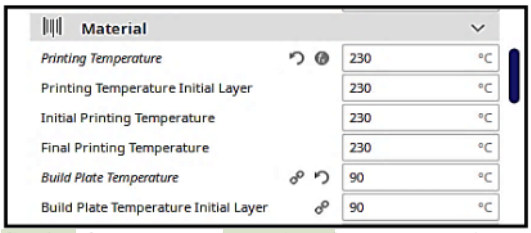


Gambar 5. Pengaturan (*setting*) *printing* pada Cura untuk spesimen ASTM D790

pada gambar 5.

Temperature dan *Bed Temperature* pada mesin 3D *Printing* bisa dilakukan juga di aplikasi Cura sebelum melakukan proses pencetakan seperti pada gambar 6 diatas. Untuk pengaturan nilai *temperature* yang diinginkan pada saat proses *printing* spesimen bisa dirubah sesuai dengan keinginan tidak seperti pengaturan untuk *infill*, *support*, *adhesion*, dan ada beberapa menu lainnya yang tidak boleh dirubah jika sudah menemukan pengaturan (*setting*) yang pas.

Apabila kita ingin mengetahui berapa lama waktu proses *heating* pada *nozzle* dan *bed* hingga mencapai nilai *temperature* yang sudah ditentukan pada mesin 3d *printing* sebelum proses pencetakan berjalan, maka dapat 10hat pada *display* (tampilan) layar yang terdapat pada mesin 3d *printing* seperti pada gambar 7.



Gambar 6. Pengaturan (*setting*) *Bed Temperature* dan *Nozzle Temperature* pada Cura

Gambar 7. Tampilan lama waktu *heating bed* dan *nozzle* di mesin 3d *printing*

Gambar 8. Mesin 3D *printing* Ender-5 (Prusa-I5)

Mesin *printing* yang digunakan untuk melakukan proses pencetakan spesimen adalah mesin 3D *Printing* FDM yaitu 3D *Printer* Ender-5 (Prusa-i5) dengan kapasitas 220mm x 220mm x 300mm seperti yang terdapat pada gambar 8.

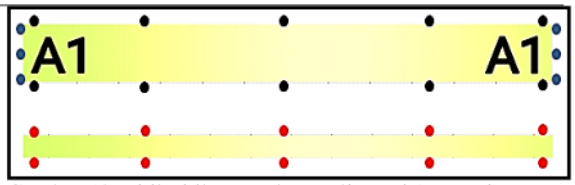
Spesimen yang telah selesai dicetak, dilakukan pengukuran untuk mengetahui keakurasian dimensi produk desain dengan produk jadi. Pengukuran ini bertujuan untuk mencari nilai simpangan atau nilai selisih dari dimensi spesimen sebenarnya dengan dimensi spesimen hasil pencetakan. Dimensi yang termasuk dalam pengukuran, yaitu *Overall Length* (L), *Width* (B), *Thickness* (H).

Tabel *properties* pengukuran dimensi merujuk pada standar ASTM D790 yang ditunjukkan pada tabel 4. Untuk mempermudah penulis dalam memperoleh keakurasian yang tinggi maka digunakan alat bantu, yaitu jangka sorong digital dapat dilihat pada gambar 9.

Penulis memilih menggunakan jangka sorong digital selain karena keakurasiannya yang tinggi pada jangka sorong digital juga terdapat tampilan layar yang menunjukkan angka hasil pengukuran sehingga penulis tidak perlu ragu lagi. Jangka sorong ini memiliki keakurasian sebesar 0.01 mm. Satuan pengukuran yang terdapat pada jangka sorong digital ini terdiri dari satuan mm dan *inch*.

Pengukuran dimensi ini dilakukan satu per satu dari 45 spesimen hasil pencetakan dengan mengukur 5 (lima) titik bagian untuk sisi dimensi Lo dan Wo, sedangkan 3 (tiga) titik bagian untuk sisi dimensi T. Tujuannya dari setiap sisi dibagi menjadi beberapa titik pengukuran adalah untuk mengetahui akurasi dimensi pada setiap spesimen yang diperoleh dari nilai simpangannya (selisih dari ukuran sebenarnya). Untuk

Gambar 9. Jangka Sorong Digital merk Wipro



Gambar 10. Titik-titik pengukuran dimensi (Lo = Biru, Wo = Hitam, T = Merah)

Keterangan: Titik berwarna biru untuk sisi Lo atau panjang (simbo L1, L2, L3); Titik berwarna Hitam untuk sisi Wo atau lebar (simbo W1, W2, W3, W4, W5); Titik berwarna merah untuk sisi T atau tebal (simbol T1, T2, T3, T4, T5).

Gambar 11. Mesin Uji Polimer J.T.M *Technology*

titik-titik pengukuran dimensi spesimen pada sisi Lo (panjang), Wo (lebar) dan T (tebal) dapat dilihat seperti pada gambar 10.

Setelah selesai dilakukan pengukuran pada dimensi spesimen maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian uji *flexural* pada spesimen. Pada penelitian ini digunakan mesin uji polimer dikarenakan material dilakukan uji lentur adalah material plastik. Mesin uji polimer ini juga sudah tersedia di Laboratorium Metalurgi Universitas Kristen Petra. Untuk mesin uji polimer yang digunakan yaitu keluaran dari pabrik J.T.M *Technology* serta kapasitas pengujian yang dimiliki sebesar 20 kN atau 2 ton. Gambar dari mesin uji polimer J.T.M *Technology* ini bisa dilihat pada gambar 11.

Namun, sebelum dilakukan uji kelenturan (*flexural*) dimana spesimen-spesimen hasil pencetakan harus didiamkan selama kurang lebih 40 jam didalam ruangan laboratorium untuk dilakukan penetralan dengan menggunakan alat yaitu *dehumidifier*. *Dehumidifier* merupakan alat elektronik yang dapat menurunkan kelembapan udara dengan mengubah udara lembap menjadi air. Pada ruangan Laboratorium Metalurgi yang dilakukan untuk pengujian uji *flexural* ini, dimana kelembapan suhu ruangannya diatur oleh *dehumidifier* sebesar 55%. Tujuannya diatur kelembapan pada rentang 50 ±5 % yaitu agar spesimen memiliki kondisi yang sama dengan yang ada pada aturan uji *flexural* ASTM D790, sehingga pada saat dilakukan uji *flexural* diperoleh hasil nilai *flexural strength* yang sesuai dengan aturan ASTM.

Tabel 4. Dimensi spesimen ASTM D790

Bagian	Ukuran Standar (mm)
LO (Length Overall)	125
WO (Width Overall)	12.7
T (Thickness)	3.2

Setelah selesai melakukan proses pengujian uji *flexural* pada spesimen, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan analisa pada hasil pengukuran berdasarkan waktu proses pencetakan, akurasi dimensi dan kekuatan lentur. Untuk hasil kekuatan uji lentur, akurasi dimensi produk, serta waktu pengerjaan dapat dianalisis menggunakan metode PCR-Topsis. Lalu, ANOVA dapat digunakan untuk melihat hasil pengaruh pada setiap spesimen yang diberikan parameter proses pada produk 3D *printing*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pencatatan Waktu Proses Pencetakan

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pencatatan waktu proses pencetakan spesimen yang ditunjukkan pada tabel 5, maka diperoleh hasil bahwa yang mempengaruhi perbedaan pada nilai waktu proses pencetakan dari setiap spesimen yang dicetak yaitu karena parameter yang digunakan berbeda-beda.

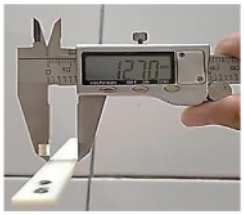
Jika dilihat dari parameter yang digunakan pada saat proses pencetakan dimana yang memberi pengaruh besar terhadap nilai waktu proses pencetakan yaitu terdapat pada arah orientasi pencetakannya. Untuk parameter *nozzle temperature* dan *base plate temperature* tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap nilai proses waktu pencetakan spesimen. Hal tersebut dikarenakan pada saat proses *slicing* di aplikasi Cura dengan nilai ekstrusi sebesar 0.2 mm, menghasilkan lintasan (*line*) yang lebih banyak dan panjang, sehingga *print head* pada mesin 3D *printing* akan melakukan proses pencetakan dengan lebih lama agar lapisan spesimen terisi sepenuhnya dan menghasilkan bentuk yang lebih padat pada setiap lapisannya.

3.2 Pengukuran Dimensi Spesimen

Pada saat proses pengukuran dimensi spesimen pedoman yang digunakan yaitu merujuk pada ukuran standar dari ASTM D790 yang meliputi *Length* (Lo), *Width* (Wo), *Thickness* (T). Pengukuran dimensi spesimen dengan menggunakan jangka sorong digital ini dilakukan satu per satu dengan mengukur 5 (lima) titik bagian untuk sisi dimensi Lo dan Wo, sedangkan 3 (tiga) titik bagian untuk sisi dimensi T yang dapat dilihat seperti pada gambar 12.

Setelah selesai melakukan pengukuran dimensi dari 45 spesimen hasil pencetakan dan juga tidak lupa

(a)



(b)

(c)

Gambar 12. Proses pengukuran dimensi pada spesimen (a) Panjang, (b) Lebar, (c) Tebal

Tabel 5. Pencatatan waktu pada saat prose pencetakan spesimen beserta nilai rata-ratanya

Kon-disi	Cura (Menit)	Ender-5 (Menit)	Heating Bed & Nozzle (Menit)	Total Ender-5 (Menit)	Rata" (Menit)
1	156	150	10.6	139.4	147.7
2	149	141	8.67	132.33	140.67
3	156	155	5.45	149.55	152.78
4	149	143	7.53	135.47	142.24
5	156	153	5.21	147.79	151.9
6	156	151	12.14	138.86	147.43
7	156	155	6.32	148.68	152.34
8	156	152	11.3	140.7	148.35
9	149	142	7.39	134.61	141.81

Tabel 6. Hasil pengukuran rata-rata simpangan dimensi spesimen (panjang, lebar, tebal)

Kondisi	Simp. Panjang	Simp. Lebar	Simp. Tinggi	Rata"
1	0.2433	0.0636	0.0128	0.1066
2	0.2580	0.0252	0.0232	0.1021
3	0.2713	0.0292	0.0252	0.1086
4	0.1420	0.074	0.0196	0.0785
5	0.2203	0.03	0.0248	0.0917
6	0.2490	0.0264	0.0236	0.0997
7	0.1867	0.0568	0.0304	0.0913
8	0.1500	0.024	0.0192	0.0644
9	0.2167	0.0564	0.018	0.0970

Tabel 7. Data hasil perhitungan keseluruhan *flexural strength* beserta nilai rata-ratanya (dalam satuan MPa)

Kon-disi	A	B	C	D	E	Rata"
1	37.98	37.41	39.11	38.63	38.62	38.351
2	34.44	31.92	31.71	35.64	35.82	33.906
3	39.38	40.31	39.97	38.75	40.27	39.734
4	37.41	36.64	36.67	36.01	37.01	36.765
5	37.77	37.62	36.89	38.41	38.29	37.795
6	38.77	40.73	41.46	40.72	40.11	40.362
7	39.23	39.42	39.36	38.69	39.05	39.149
8	37.65	40.49	40.15	37.34	40.76	39.277
9	35.15	36.01	35.31	34.99	35.69	35.430

Tabel 8. Matriks *orthogonal* L9

Kondisi	Nozzle Temp	Bed Temp	Orientasi
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

penulis pada saat melakukan input nilai ke dalam Microsoft Excel juga sudah dikurangi dengan nilai akurasi dari jangka sorong yaitu sebesar 0.01 mm. Lalu, langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai rata-rata simpangan dari masing-masing sisi dimensi pada setiap spesimen hasil pencetakan tersebut. Tabel hasil pengukuran dimensi Lo, Wo, T beserta nilai simpangannya ditunjukkan pada tabel 6.

Dari data hasil pengukuran nilai simpangan rata-rata (ukuran dimensi spesimen hasil *printing* dikurangi dengan ukuran dimensi sebenarnya), dimana pada simpangan *length orientation* (panjang) di setiap spesimennya dari kondisi 1 sampai 9 menunjukkan data

pengukuran yang kurang optimal berdasarkan standar yang digunakan yaitu ASTM D790. Hal tersebut dikarenakan terjadinya fenomena pemotongan *raft* disekeliling spesimen saat setelah proses pencetakan.

3.3 Pengujian Uji *Flexural*

Pada proses pengujian uji lentur atau *flexural* menggunakan kecepatan pengujian sebesar 0.82 mm/mm/menit sesuai dengan standar dari mesin uji J.T.M *Technology* yang telah tersedia pada ruangan Laboratorium Metalurgi Universitas Kristen Petra dengan kelembapan udara relatif sebesar 55% (atau 50 ±5 %) dari suhu ruangan yang terdapat pada Laboratorium, serta spesimen harus didiamkan terlebih dahulu di dalam ruangan selama kurang lebih 40 jam sebelum dilakukan pengujian bending agar sesuai dengan aturan uji bending yang berlaku untuk spesimen ASTM D790. Data hasil perhitungan *flexural strength* ditunjukkan pada tabel 7.

3.4 Menghitung PCR-Topsis Karakteristik Kualitas

Dari hasil proses pengujian yang telah dilakukan, dimana nilai yang digunakan pada parameter *nozzle temperature*, *base plate/bed temperature*, serta arah orientasi sangat berpengaruh terhadap hasil kekuatan uji lentur atau *flexural strength*. Oleh karena itu, langkah selanjutnya yang dilakukan setelah diperoleh nilai dari ketiga respon tersebut yaitu melakukan analisa dengan menggunakan metode PCR-Topsis. Metode PCR-Topsis digunakan untuk menganalisis data multirespon dalam mengoptimasi pengaturan nilai level dari paramtere, sehingga dapat diperoleh hasil dari masing-masing respon yang terdapat pada pada tabel 8 dan tabel 9.

3.4.1 Menghitung *Mean*

Setelah memperoleh nilai masing-masing respon, maka langkah selanjutnya yaitu mencari nilai rata-rata (*mean*). Lalu, jika setelah ditemukan nilai rata-rata dari masing-masing respon maka dilanjutkan dengan perhitungan PCR sebelum masuk ke tahap akhir yaitu Topsis. Hasil perhitungan *mean* untuk karakteristik kualitas waktu proses pencetakan, akurasi dimensi, dan hasil uji kekuatan bending selengkapnya disajikan pada tabel 10.

3.4.2 Menghitung PCR-*Mean* untuk Setiap Respon

Tujuannya dari menghitung PCR-*mean* dari setiap respon yaitu agar nilainya yang diperoleh harus berada diantara spesifikasi atas dan bawah. Indeks Kemampuan Proses (*Cpk*) digunakan untuk mengkalkulasi perbandingan antara nilai yang diinginkan dan yang baik dari suatu produk yang dihasilkan. Berdasarkan perhitungan Indeks Kemampuan Proses, kita dapat menghitung PCR-*Mean* dengan menggunakan nilai *Mean* dari tiap variabel respon kedalam persamaan *Cpk* sehingga diperoleh nilai PCR-*Mean* yang dapat dilihat pada tabel 11. Untuk mencari nilai PCR-*Mean* maka diperlukan beberapa persamaaan pada saat sebelum masuk kedalam tahap pencarian nilai TOPSIS. Pada Persamaan 1, adalah persamaan untuk mencari nilai rata-rata (*mean*) karakteristik kualitas pada spesimen.

$$\bar{x}_{\eta j} \frac{\sum_{i=1}^{m} \eta_j^i}{m-1} \quad (1)$$

$\bar{x}_{\eta j}$ adalah rata-rata sampel untuk *Mean* pada respon ke-j, η_j^i adalah kontribusi kualitas yang maksimal untuk respon ke-j, dan *m* adalah jumlah kondisi pada saat percobaan.

Pada Persamaan 2, adalah persamaan yang digunakan untuk mencari nilai standar deviasi PCR-*Mean* karakteristik kualitas pada spesimen.

$$S_{\eta j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}(\eta_j^i - \bar{x}_{\eta j})^2}{m-1}} \quad (2)$$

$S_{\eta j}$ adalah standar deviasi sampel untuk *Mean* dalam respon ke-*j*, $\bar{x}_{\eta j}$ adalah rata-rata sampel untuk *Mean* pada respon ke-j, η_j^i adalah kontribusi kualitas yang maksimal untuk respon ke-j, dan *m* adalah jumlah kondisi pada saat percobaan.

Tahap akhir, yaitu pada Persamaan 3 adalah persamaan yang digunakan untuk mencari nilai PCR-*Mean* karakteristik kualitas spesimen setelah selesai mencari nilai rata-rata (*mean*) dan standar deviasi.

$$C_j^i = \frac{\eta_j^i - \bar{x}_{\eta j}}{3S_{\eta j}} \quad (3)$$

C_j^i adalah PCR-*Mean* dalam respon ke-j untuk percobaan ke-i, η_j^i adalah kontribusi kualitas yang maksimal untuk respon ke-j, $\bar{x}_{\eta j}$ adalah rata-rata sampel untuk *Mean* pada respon ke-j, $S_{\eta j}$ adalah standar deviasi sampel untuk *Mean* dalam respon ke-j.

3.4.3 Menghitung TOPSIS Hasil PCR-*Mean*

Tabel 9. Nilai masing-masing respon

Waktu		Akurasi Dimensi			Flexural
t-Cura	t-Ender 5	Lo	Wo	T	
156	139.4	0.2433	0.0636	0.0128	38.5306
149	132.33	0.2580	0.0252	0.0232	33.9058
156	149.55	0.2713	0.0292	0.0252	39.7346
149	135.47	0.1420	0.074	0.0196	36.7654
156	147.79	0.2203	0.03	0.0248	37.7958
156	138.86	0.2490	0.0264	0.0236	40.3627
156	148.68	0.1867	0.0568	0.0304	39.1493
156	140.7	0.1500	0.024	0.0192	39.2774
149	137.61	0.2167	0.0564	0.018	35.4301

Tabel 10. Hasil perhitungan *mean* terhadap waktu proses akurasi dimensi, dan uji *flexural*

Outer Array (OA)		
Mean		
t	V	Fs
147.7	0.1066	38.3506
140.665	0.1021	33.9058
152.775	0.1086	39.7346
142.235	0.0785	36.7654
151.895	0.0917	37.7958
147.43	0.0997	40.3627
152.34	0.0913	39.1493
148.35	0.0644	39.2774
141.805	0.0970	35.4301

Tabel 11. Nilai PCR-*Mean* untuk respon waktu proses, akurasi dimensi, dan uji *flexural*

Kondisi	PCR-Mean		
	t	V	Fs
1	-0.1145	0.0101	-0.1018
2	-0.1594	-0.0181	-0.2085
3	-0.0821	0.0227	-0.0686
4	-0.1494	-0.1675	-0.1399
5	-0.0878	-0.0841	-0.1152
6	-0.1163	-0.0337	-0.0536
7	-0.0849	-0.0867	-0.0827
8	-0.1104	-0.2570	-0.0796
9	-0.1521	-0.0504	-0.1719

Tabel 12. Solusi ideal positif dan solusi ideal negatif

d^{i+}	d^{i-}
0.0646	0.2911
0.1731	0.2389
0.0435	0.3221
0.1852	0.1132
0.0904	0.2092
0.0375	0.2752
0.0746	0.2244
0.2420	0.1379
0.1412	0.2099

Tabel 13. Hasil Perhitungan PCR-TOPSIS

Kondisi	PCR-TOPSIS (S^i)
1	0.818
2	0.580
3	0.881
4	0.379
5	0.698
6	0.880
7	0.750
8	0.363
9	0.598

Tabel 14. Perhitungan analisis ANOVA PCR-TOPSIS

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Nozzle Temp	2	0.05413	0.0541	0.02706	0.82	0.5
Bed Temp	2	0.08648	0.0865	0.04324	1.31	0.4
Orientasi	2	0.10257	0.1026	0.05129	1.55	0.3
Residual Error	2	0.0661	0.661	0.03305		
Total	8	0.30929				

TOPSIS adalah salah satu metode pengambilan keputusan multikriteria dengan ide dasarnya adalah bahwa alternatif yang dipilih memiliki jarak terdekat dengan solusi ideal dan yang terjauh dari solusi ideal negatif. Pada persamaan 4,5,6 berikut merupakan langkah-langkah untuk mencari nilai Topsis dari hasil PCR-*Mean*, yaitu:

$$d^{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(C_j^i - C_j^+)^2} \quad (4)$$

$$d^{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(C_j^i - C_j^-)^2} \quad (5)$$

$$S^i = \frac{d^{i-}}{d^{i+} - d^{i-}}$$

d^{i+} untuk $i = 1,...,m$ (adalah Jarak percobaan ke-i untuk solusi ideal positif), d^{i-} untuk $i = 1,...,m$ (adalah Jarak percobaan ke-i untuk solusi ideal negatif), $C_j^+ = \max\{C_j^i$, untuk $i = 1,2,...,m\}$, $\forall C_j^i$ $(i = 1,2,...,m, j = 1,2,...,n)$, $C_j^- = \min\{C_j^i$, untuk $i = 1,2,...,m\}$, $\forall C_j^i$ $(i = 1,2,...,m, j = 1,2,...,n)$, S^i adalah nilai PCR-Topsis.

Tabel 15. Rekapitulasi PCR-Topsis

Kondisi	Faktor dan Level			PCR-TOPSIS (S^i)
	Nozzle Temp	Bed Temp	Orientasi	
1	230	90	0	0.818
2	230	100	45	0.580
3	230	110	90	0.881
4	240	90	45	0.379
5	240	100	90	0.698
6	240	110	0	0.880
7	250	90	90	0.750
8	250	100	0	0.363
9	250	110	45	0.598

Berdasarkan perhitungan solusi ideal positif dan solusi ideal negatif pada percobaan ke-1 hingga ke-9 untuk respon ke-*j*, maka diperoleh nilai PCR-TOPSIS yang dapat dilihat pada tabel 13.

Hasil dari nilai PCR-Topsis dianalisis sebagai variabel respon baru yang mewakili tiga respon dari nilai waktu proses pencetakan, nilai akurasi dimensi, dan nilai *flexural strength*.

3.5 Menentukan Persentase Kontribusi dari Faktor-Faktor yang Signifikan dalam Multirespon

Penggunaan Anova pada PCR-Topsis dicari untuk mengetahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variansi ketiga karakteristik kualitas dari ketiga respon yang dihasilkan tersebut. Perhitungan Anova untuk PCR-Topsis dijelaskan pada tabel 14.

a. Menghitung Persen Kontribusi Faktor *Nozzle Temperature*:

$$\rho A = \frac{SqA'}{St} \; x \; 100\% \qquad (7)$$

Keterangan:
SqA' = *Sum of squares* faktor A
St = *Sum of squares total* faktor

$$= \frac{0.05413}{0.30929} \; x \; 100\% = \; 18\%$$

b. Menghitung Persen Kontribusi Faktor *Bed Temperature*:

$$\rho B = \frac{SqB'}{St} \; x \; 100\% \qquad (8)$$

Keterangan:
SqB' = *Sum of squares* faktor B
St = *Sum of squares total* faktor

$$= \frac{0.08648}{0.30929} \; x \; 100\% = \; 28\%$$

c. Menghitung Persen Kontribusi Faktor Orientasi:

$$\rho C = \frac{SqC'}{St} \; x \; 100\% \qquad (9)$$

Keterangan:
SqC' = *Sum of squares* faktor C
St = *Sum of squares total* faktor

Tabel 16. Tabel Respon PCR-Topsis untuk nilai rata-rata Eksperimen Taguchi (*Larger is Better*)

Level	Nozzle Temp	Bed Temp	Orientasi
1	0.7598	0.6494	0.687
2	0.6525	0.5470	0.519
3	0.5704	0.7863	0.776
Delta	0.1894	0.2393	0.257
Rank	3	2	1

$$= \frac{0.10257}{0.30929} \; x \; 100\% = \; 33\%$$

d. Menghitung Persen Kontribusi *Residual Error*:

$$\rho e = \frac{Sqe'}{St} \; x \; 100\% \qquad (10)$$

Keterangan:
Sqe' = *Sum of squares* faktor E
St = *Sum of squares total* faktor

$$= \frac{0.0661}{0.30929} \; x \; 100\% = \; 21\%$$

Dari hasil perhitungan analisis variansi (ANOVA) *means* untuk nilai PCR-Topsis bahwa dari 3 parameter proses yang digunakan selama proses *printing*, dimana parameter orientasi memberikan pengaruh yang paling besar dengan nilai persen kontribusi sebesar 33%, selanjutnya parameter *bed temperature* sebesar 28%. Sedangkan, untuk parameter *nozzle temperature* tidak terlalu memberi pengaruh yang besar terhadap variansi karakteristik kualitas nilai waktu proses pencetakan, nilai akurasi dimensi, serta nilai *flexural strength* pada saat proses pencetakan spesimen.

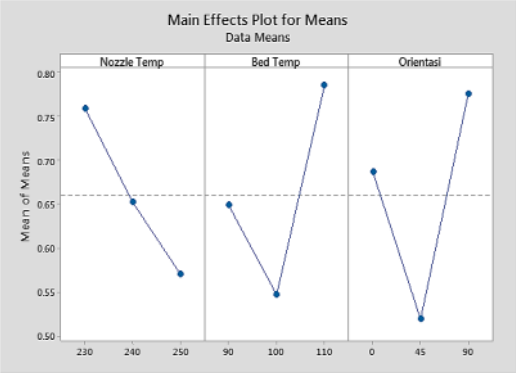
3.6 Penentuan Kondisi Optimal

Selanjutnya, dilakukan penentuan *setting* level faktor optimal dengan menggunakan metode PCR-Topsis yaitu hasil gabungan nilai *mean* dari 3 respon terhadap 3 parameter yang dihitung berdasarkan dari tabel rekapitulasi PCR-Topsis seperti pada tabel 15.

Langkah selanjutnya yaitu membuat tabel respon untuk nilai rata-ratanya:

$$A1 = \frac{0.831 + 0.587 + 0.880}{3} = 0.748$$

Cara perhitungan manual yang sama juga dilakukan untuk masing-masing faktor dan levelnya atau bisa juga langsung melalui eksperimen Taguchi, maka dapat diperoleh nilai dari efek faktor tersebut. Level faktor yang dipilih adalah level yang memberikan nilai rata-rata PCR-Topsis terbesar. Tabel respon PCR-Topsis akan dijelaskan pada tabel 16. Berdasarkan tabel 16 dapat dilihat bahwa faktor orientasi memiliki pengaruh paling



Gambar 13. Grafik respon untuk nilai PCR-Topsis terhadap tiga parameter

besar pada hasil PCR-Topsis dari penggabungan rata-rata 3 respon terhadap 3 parameter.

Selanjutnya jika ingin lebih jelas melihat perbedaan nilai yang terdapat pada tabel respon maka dapat dibandingkan dengan grafik respon pada gambar 13, bahwa faktor orientasi memiliki nilai tertinggi terdapat pada level 3 (90°), faktor *base plate/bed temperature* memiliki nilai tertinggi terdapat pada level 3 (110°C), dan faktor *nozzle temperature* memiliki nilai tertinggi terdapat pada level 1 (230°C). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa dari 3 parameter yang memiliki level tertinggi hasil perhitungan eksperimen Taguchi terhadap nilai PCR-Topsis baik pada *nozzle temperature*, *bed temperature*, dan orientasi, dimana ketiga level tertinggi tersebut di*print* dan terletak pada spesimen kondisi ke-3 (yaitu 230°C, 110°C, 90°).

Adapun spesimen dari kondisi ke-3 tersebut sudah di*print* sehingga tidak perlu dilakukan eksperimen konfirmasi dan juga menentukan nilai prediksi respon dan selang kepercayaan. Dikarenakan dari hasil perhitungan PCR-Topsis pada spesimen kondisi ke-3 sudah terbukti menunjukkan hasil yang paling optimal yaitu sebesar 0.881 dari 9 kondisi lainnya yang sudah dilakukan pencetakan.

4. Kesimpulan

Telah berhasil dilakukan pengukuran dimensi spesimen, pencatatan waktu proses *printing* serta pengujian *flexural* pada setiap spesimen yang disiapkan. Setelah dilakukan analisis menggunakan PCR-Topsis, diperoleh parameter dengan level yang menghasilkan respon gabungan paling optimal adalah terletak pada spesimen kondisi ke-3 (dengan nilai *temperature nozzle* sebesar 230°C; *temperature base plate/bed* sebesar 110°C; dan arah orientasi *printing* sebesar 90°). Adapun dengan parameter tersebut, rata-rata waktu proses sebesar 152.775 menit, simpangan dimensi sebesar 0.1086 mm, dan kekuatan *flexural* sebesar 39.7346 Mpa. Lebih lanjut, dari ANOVA diperoleh parameter yang memiliki

Tabel 17. Level optimal dalam eksperimen

Faktor Eksperimen	Level Optimal	Nilai
Nozzle Temp	1	230
Bed Temp	2	110
Orientasi	3	90

pengaruh yang paling tinggi secara berurutan adalah orientasi sebesar 33%, *temperature base plate/bed* sebesar 28%, dan *temperature nozzle* sebesar 18%. Namun, dari hasil analisis ANOVA terlihat tidak ada parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon gabungan. Sehingga, perlu diamati pengaruh dari masing-masing parameter terhadap respon individual.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat) Universitas Kristen Petra Surabaya atas hibah penelitian internal yang diberikan. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium *Computer Aided and Design* Universitas Kristen Petra tempat dilaksanakannya penelitian ini serta Laboratorium Metalurgi Universitas Kristen Petra tempat dilaksanakannya pengujian Lentur (*Flexural*).

Daftar Pustaka

Berman, B. (2012). 3D Printing: The New Industrial Revolution. *Business Horizons*, 55(1), 155-162.

Christiyan, K. G., Chandrasekhar, U., & Venkateswarlu, K. (2016). A study on the Influence of Process Parameters on the Mechanical Properties of 3D Printed ABS Composite In *2nd International Manufacturing Engineering Conference and 3rd Asia-Pacific Conference on Manufacturing Systems, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (pp, 114: 012109). Kuala Lumpur, Malaysia. Faculty of Manufacturing, Universiti Malaysia Pahang.

Dizon, J. R. C., Espera Jr. A. H., Chen Q. & Advincula R. C. (2017). Mechanical characterization of 3D-Printed Polymers. *Additive Manufacturing*, 20, 44-67.

Mahamood, S., Khader, M. A., & Ali, H. (2016). Applications of 3-D Printing in Orthodontics: A Review. *International Journal of Scientific Study*, 3(11), 267–270.

Mohamed, A. O., Masood, S. H., & Bhowmik, J. L. (2014). Optimization of Fused Deposition Modeling Process Parameters: A Review of Current Research and Future Prospects. *Advances in Manufacturing*, 3(1), 42-53.

Pristiansyah, Hasdiansah, & Sugiyarto (2019). Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(1), 33-40.

Rika, D. H. Q., Allen, W., & Mahros, D. (2021). Kajian terhadap Tingkat Kerusakan Pahat pada Pembubutan dengan Metode Minimum Quantity Lubrication (MQL). *Teknik*, 41(3), 261-268

Satyanarayana, B., dan Prakash, K. (2015). *Component Replication using 3D Printing Technology*. *Procedia Materials Science* Vol.10: 263–269.

Suppachai, N., & Worrasid, T. (2021). Effects of Process Parameters on Compressive Property of FDM with ABS. *Rapid Prototyping*, 27(5), 905-917

Tanoto, Yopi Y., Anggono, J. & Fefe. (2021). Optimization of Fused Deposition Modeling Parameters for Hips Flexural Strength with Taguchi Method In *International Conference on Mechanical Engineering Research and Application, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (pp.1034: 012094). Malang, Indonesia: Departemen of Mechanical Engineering, Brawijaya University.

Tanoto, Yopi Y., Anggono, J., Siahaan, I. H., & Budiman, W. (2017). The Effect of Orientation Difference in Fused Deposition Modeling of ABS Polymer on the Processing Time, Dimension Accuracy, and Strength In *International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology, AIP Proceeding* (pp. 1788). Surakarta, Indonesia: Departemen Mechanical Engineering, Sebelas Maret University.

Taufik, I., Budiono, H. S., Herianto, & Andriansyah, D. (2020). Pengaruh Printing Speed terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Additive Manufacturing dengan Polylactic Acid Filament. *Journal of Mechanical Engineering*, 4(2), 15-20.

Tontowi, A. E., Ramdani, L., Baroroh, K. D., & Erdizon, R. V. (2017). Optimization of 3D-Printer Process Parameters for Improving Quality of Polylactic Acid Printed Part. *International Journal of Engineering and Technology*, 9(2), 589-600.

Optimasi Multirespon pada Proses 3D Printing Material ABS dengan Metode Taguchi-PCR Topsis

ORIGINALITY REPORT

18%	17%	3%	2%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Repository.umy.ac.id Internet Source	5%
2	jurnal.unimus.ac.id Internet Source	3%
3	repository.umy.ac.id Internet Source	2%
4	repository.its.ac.id Internet Source	1%
5	media.neliti.com Internet Source	1%
6	Submitted to Universitas Sebelas Maret Student Paper	1%
7	ejournal.undip.ac.id Internet Source	<1%
8	jurnal.untidar.ac.id Internet Source	<1%
9	zombiedoc.com Internet Source	<1%

10	repository.polman-babel.ac.id Internet Source	<1 %
11	jsfk.ffarmasi.unand.ac.id Internet Source	<1 %
12	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
13	my-best.id Internet Source	<1 %
14	Submitted to Universitas Brawijaya Student Paper	<1 %
15	www.icicm.com Internet Source	<1 %
16	ejournal.uin-suska.ac.id Internet Source	<1 %
17	core.ac.uk Internet Source	<1 %
18	adoc.pub Internet Source	<1 %
19	docplayer.info Internet Source	<1 %
20	123dok.com Internet Source	<1 %
21	Www.emerald.com Internet Source	<1 %

22	budiesusanto.blogspot.com Internet Source	<1 %
23	dokumen.pub Internet Source	<1 %
24	id.123dok.com Internet Source	<1 %
25	id.scribd.com Internet Source	<1 %
26	repository.iainkudus.ac.id Internet Source	<1 %
27	repository.petra.ac.id Internet Source	<1 %
28	repository.ub.ac.id Internet Source	<1 %
29	www.favorvillage.com Internet Source	<1 %
30	www.tandfonline.com Internet Source	<1 %

Exclude quotes	On	Exclude matches	< 5 words
Exclude bibliography	On		