

OPTIMASI RESPON KEKUATAN *FLEXURAL* SPESIMEN PRODUK *FUSED DEPOSITION MODELLING* DENGAN METODE TAGUCHI

Fefe¹⁾, Yopi Y. Tanoto²⁾, Juliana Anggono³⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2)}

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia^{1,2)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail : stefanus_fefe@yahoo.com¹⁾, yopi.tanoto@petra.ac.id²⁾, julianaa@petra.ac.id³⁾

ABSTRAK

HIPS (High Impact Polystyrene) merupakan salah satu material yang digunakan dalam *3D printing*. Penelitian dan aplikasi penggunaan material ini belum banyak dilakukan, khususnya dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan *flexural*. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan kombinasi *setting parameter proses FDM (Fused Deposition Modelling)* yang menghasilkan eksperimen dengan kekuatan *flexural* tertinggi dengan proses optimasi menggunakan desain eksperimen metode Taguchi dengan parameter *FDM* yaitu posisi orientasi spesimen, *fill pattern*, *fill density*, dan *layer*.

Hasil penelitian menunjukkan eksperimen konfirmasi menghasilkan kekuatan *flexural* tertinggi (32,6753 MPa). Pada eksperimen sebelum konfirmasi, kekuatan *flexural* tertinggi (31,3768 MPa) ditunjukkan pada eksperimen nomor 5 (posisi orientasi ke-3, *fill pattern* *lattice*, *fill density* 75 %, dan *layer thickness* 0,125 mm).

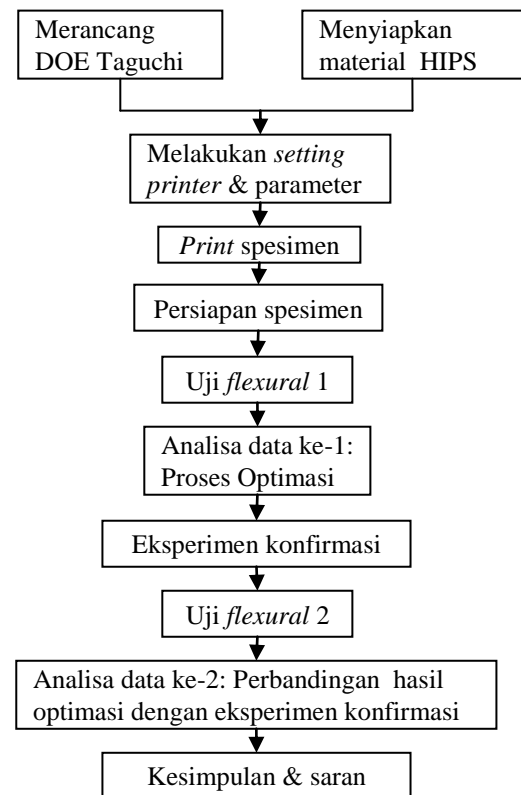
Kata kunci: *3D printing*, *fused deposition modelling*, *high impact polystyrene*, Taguchi, *flexural strength*.

1. Pendahuluan

Teknologi *3D printing* merupakan teknologi yang dapat mengubah CAD (*Computer Aided Design*) menjadi *prototype* 3 dimensi. Terdapat banyak macam-macam pilihan material untuk membuat *prototype* diantaranya adalah PLA, ABS, PETG, PVA, HIPS dan lain-lain.

HIPS (*High Impact Polystyrene*) merupakan material pendatang baru dimana material ini menawarkan kelebihan-kelebihan yang tidak dimiliki oleh material lainnya, selain itu aplikasi penggunaan dan penelitian tentang HIPS belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini mewujudkan material HIPS sebagai material utama yang diujikan sebagai optimasi dari respon kekuatan *flexural (flexural strength)* yang optimum dengan parameter posisi orientasi dimana posisi orientasi 1 (*tinggi ± bed*), 2 (*lebar ± bed*), dan 3 (*panjang ± bed*), kemudian parameter *fill pattern* yaitu *fill pattern linear*, *lattice*, dan *hexagonal*, kemudian parameter *fill density* yaitu *fill density* dengan tingkat 25%, 50%, dan 75%, lalu parameter *layer thickness*, dimana digunakan *layer thickness* dengan tingkat 0.125 mm, 0.25 mm, dan 0.5 mm.

2. Metode Penyelesaian Tugas Akhir



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian.

Dalam melakukan proses optimasi pada penelitian ini, dibutuhkan rancangan matriks ortogonal $L_9(3^4)$ sebagai acuan parameter. Bentuk rancangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Ortogonal $L_9(3^4)$.

| Eksperimen | Faktor/Parameter | | | |
|------------|------------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 |

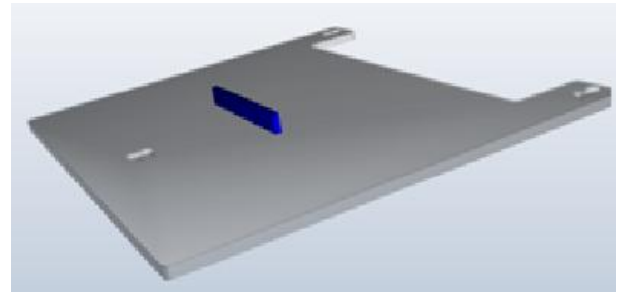
Pada penelitian ini setiap eksperimen akan dilakukan 5 kali replikasi. Keterangan parameter dan level yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Parameter A = Posisi orientasi (*level 1* = posisi orientasi 1, *level 2* = posisi orientasi 2, dan *level 3* = posisi orientasi 3).
- Parameter B = *Fill pattern* (*level 1* = *linear*, *level 2* = *lattice*, dan *level 3* = *hexagonal*)
- Parameter C = *Fill density* (*level 1* = 25 %, *level 2* = 50 %, dan *level 3* = 75 %)
- Parameter D = *Layer thickness* (*level 1* = 0.125 mm, *level 2* = 0.25 mm, dan *level 3* = 0.5 mm)

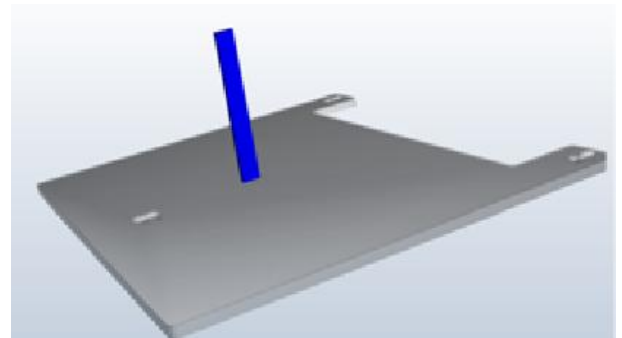
Setelah rancangan matriks ortogonal dibuat, kemudian dilakukan pembuatan CAD spesimen dari *software Solidworks 2016* lalu disimpan dengan *format (.stl)* lalu diimport ke *software 3D printing* yaitu Axon v2b2. Berikut CAD spesimen pada Axon ditunjukkan pada Gambar 2.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. CAD spesimen pada Axon. (a) Posisi orientasi 1, (b) Posisi orientasi 2, dan (c) Posisi orientasi 3.

Material HIPS yang digunakan adalah produk dari E-sun, berwarna putih dan memiliki suhu ekstrusi material 220°C - 260°C yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. HIPS.

Mesin yang digunakan untuk melakukan *printing* spesimen adalah 3D Touch FDM BFB 3000 dengan kapasitas 275 mm × 275 mm × 210 mm yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mesin printer 3D Touch FDM BFB 3000.

Spesimen yang telah selesai diprint kemudian dilakukan pengecekan dengan tujuan untuk mempersiapkan spesimen yang siap uji *flexural*. Berikut spesimen siap uji ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Spesimen siap uji.

3. Hasil dan Pembahasan

Data kekuatan *flexural* rata-rata eksperimen 1 sampai 9 bersamaan dengan kombinasi pada matriks ortogonal $L_9(3^4)$ ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Kekuatan *Flexural* Rata-rata Eksperimen 1 sampai 9 dengan rancangan matriks ortogonal.

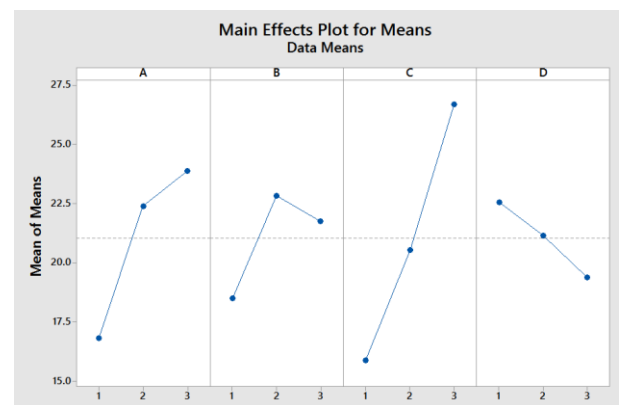
| Eksperimen | Faktor/Parameter | | | | Rata-Rata (MPa) |
|------------|------------------|---|---|---|-----------------|
| | A | B | C | D | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10.666 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 18.2719 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 21.5722 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 17.7125 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 31.3768 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 18.1126 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 27.1102 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 18.8914 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 25.6361 |

Data dari Tabel 2. kemudian dibuat menjadi tabel respon untuk dapat diketahui kombinasi *setting* parameter yang tertinggi. Hasil tabel respon dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Respon.

| Level | A | B | C | D |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 16.84 | 18.5 | 15.89 | 22.56 |
| 2 | 22.4 | 22.85 | 20.54 | 21.16 |
| 3 | 23.88 | 21.77 | 26.69 | 19.39 |
| Selisih | 7.04 | 4.35 | 10.8 | 3.17 |
| Ranking | 2 | 3 | 1 | 4 |

Tabel respon (Tabel 3) kemudian dibentuk plot grafiknya dengan menggunakan *software* Minitab 2017 untuk dapat melihat kombinasi *setting* parameter optimal (tertinggi). Hasil plot grafiknya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik respon.

Pada grafik respon, ditunjukkan bahwa kombinasi *setting* parameter optimum adalah A = 3, B = 2, C = 3, dan D = 1. *Setting* yang dihasilkan adalah posisi orientasi ke-3, *fill pattern lattice*, *fill density* 75 %, dan *layer thickness* 0.125 mm dimana kombinasi tersebut menghasilkan kekuatan *flexural* tertinggi.

Analisa varians (ANOVA) dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi dari masing-masing parameter. Berikut ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. ANOVA.

| Sumber | Sq | vq | Mq | F-ratio | Sq' | ρ % | p value |
|--------|----------|----|---------|---------|---------|----------|---------|
| A | 414.37 | 2 | 207.185 | 162.625 | 411.822 | 26.19 | 0.000 |
| B | 154.697 | 2 | 77.34 | 60.706 | 152.149 | 9.67 | 0.000 |
| C | 881.001 | 2 | 440.5 | 345.761 | 878.453 | 56.55 | 0.000 |
| D | 76.2 | 2 | 38.1 | 29.905 | 73.652 | 4.68 | 0.000 |
| e | 45.882 | 36 | 1.274 | 1 | 56.074 | 2.91 | - |
| St | 1572.15 | 44 | 35.73 | - | 1516.09 | 100 | - |
| Sm | 19916.88 | 1 | - | - | 4 | - | - |
| ST | 21489.03 | 45 | - | - | - | - | - |

Melihat hasil ANOVA, diketahui bahwa posisi orientasi (A) dan *fill density* (C) memberikan kontribusi besar terhadap kekuatan *flexural*, selain itu melihat hasil dari p value bahwa masing-masing parameter sangat signifikan dalam mempengaruhi kekuatan *flexural*.

Tahap eksperimen konfirmasi dilakukan untuk memverifikasi atau membuktikan bahwa kombinasi *setting* parameter dari tabel respon mampu menghasilkan kekuatan *flexural* optimum/tertinggi. Spesimen uji dibuat sesuai dari kombinasi dari tabel respon (A3, B2, C3, D1). Pada eksperimen konfirmasi, percobaan dilakukan sebanyak 5 replikasi.

Data hasil eksperimen konfirmasi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Eksperimen Konfirmasi.

| Spesimen | Kode Spesimen | Kekuatan Flexural (MPa) |
|----------|------------------|-------------------------|
| MS | MSa | 32.8051 |
| | MSb | 32.5871 |
| | MSc | 32.5346 |
| | MSd | 32.5155 |
| | MSe | 32.9343 |
| | Rata-rata | 32.6753 |

Kekuatan *flexural* eksperimen konfirmasi kemudian dibandingkan dengan kekuatan *flexural* eksperimen Taguchi (eksperimen 1 sampai 9). Perbandingan dilakukan dengan menghitung μ prediksi dan interval kepercayaan (CI). Perhitungan ditunjukkan sebagai berikut:

1. Perhitungan μ prediksi.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} &= \sum \bar{x}_i - n \cdot \bar{y} \\ \mu_{\text{prediksi}} &= \bar{A}_3 + \bar{B}_2 + \bar{C}_3 + \bar{D}_1 - 3 \cdot \bar{y} \\ \mu_{\text{prediksi}} &= 23,88 + 22,85 + 26,69 + 22,56 - (3 \\ &\quad \times 21,038) \\ \mu_{\text{prediksi}} &= 32,866 \end{aligned}$$

2. Perhitungan interval kepercayaan (CI) prediksi *mean* (μ prediksi).

$$n_{\text{eff}} = \frac{\text{jumlah eksperimen}}{\text{jumlah DOF dalam perkiraan rata - rata}}$$

$$n_{\text{eff}} = \frac{45}{3} = 15$$

$\alpha = 0.05$ untuk $v1 = 2$ dan $ve = 36$ adalah 3,2653 (interpolasi dari F *distribution table*).

$$\begin{aligned} CI &= \sqrt{F_{\alpha, v1, ve} \times Me \times \left(\frac{1}{n_{\text{eff}}}\right)} \\ CI &= \sqrt{F_{0.05, 2, 36} \times 1,274 \times \left(\frac{1}{15}\right)} \\ CI &= \sqrt{3,2653 \times 1,274 \times \left(\frac{1}{15}\right)} \\ CI &= \pm 0,526 \end{aligned}$$

Batas atas dan batas bawah untuk μ prediksi:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} - CI &\leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + CI \\ 32,866 - 0,526 &\leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 32,866 + 0,526 \\ 32,34 &\leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 33,392 \end{aligned}$$

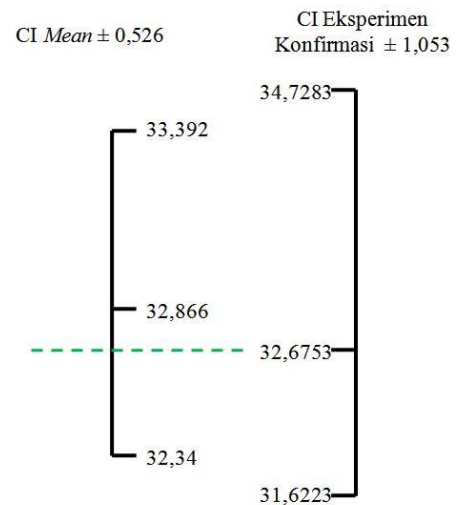
3. Perhitungan interval kepercayaan (CI) eksperimen konfirmasi.

$$\begin{aligned} CI &= \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times Me \times \left(\frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r}\right)} \\ CI &= \sqrt{F_{0.05, 2, 36} \times 1,274 \times \left(\frac{1}{15} + \frac{1}{5}\right)} \\ CI &= \sqrt{3,2653 \times 1,274 \times \left(\frac{1}{15} + \frac{1}{5}\right)} \\ CI &= \pm 1,053 \end{aligned}$$

Batas atas dan batas bawah untuk eksperimen konfirmasi:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{konfirmasi}} - CI &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq \mu_{\text{konfirmasi}} + CI \\ 32,6753 - 1,053 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 32,6753 + 1,053 \\ 31,6223 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 34,7283 \end{aligned}$$

Interpretasi perbandingan kedua interval kepercayaan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Interpretasi kedua interval kepercayaan.

Gambar 7 menunjukkan interval kepercayaan kekuatan *flexural* rata-rata eksperimen konfirmasi berada dalam *range* interval kepercayaan eksperimen Taguchi (μ prediksi). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa seting kombinasi *level* faktor pada kondisi optimum yang telah didapat adalah valid.

4. Uji signifikansi.

Uji signifikansi kekuatan *flexural* rata-rata pada eksperimen nomor 5 dengan eksperimen konfirmasi ditunjukkan sebagai berikut:

- $H_0: \mu_{ek} = \mu_5$ (kekuatan *flexural* eksperimen konfirmasi/prediksi sama dengan eksperimen 5)

$H_1: \bar{Q}_{ek} > \bar{Q}_5$ (kekuatan *flexural* eksperimen konfirmasi/prediksi lebih besar dari eksperimen 5)

- Syarat penolakan H_0 adalah $t_0 > t_{\alpha,v}$

$$t_0 = \frac{\bar{y}_{ek} - \bar{y}_5}{\sqrt{\frac{\sigma_{ek}^2}{n_{ek}} + \frac{\sigma_5^2}{n_5}}}$$

$$t_0 = \frac{32,866 - 31,3768}{\sqrt{\frac{0,1851^2}{5} + \frac{1,5435^2}{5}}}$$

$$t_0 = \frac{1,4892}{0,6952}$$

$$t_0 = 2,142$$

-
$$v = \frac{\left[\frac{\sigma_{ek}^2}{n_{ek}} + \frac{\sigma_5^2}{n_5}\right]^2}{\frac{\left[\frac{\sigma_{ek}^2}{n_{ek}}\right]^2}{n_{ek}+1} + \frac{\left[\frac{\sigma_5^2}{n_5}\right]^2}{n_5+1}}$$

$$v = \frac{\left[\frac{0,1851^2}{5} + \frac{1,5435^2}{5}\right]^2}{\frac{\left[\frac{0,1851^2}{5}\right]^2}{5+1} + \frac{\left[\frac{1,5435^2}{5}\right]^2}{5+1}}$$

$$v = \frac{0,2336}{0,037}$$

$$v = 6,3135 \approx 7$$

- $\alpha = 0,05$

$$t_{\alpha,v} = t_{0,05,7} = 1,895 \text{ (t distribution table)}$$

Cukup bukti untuk menolak $\bar{Q}_{ek} = \bar{Q}_5$

Dengan melihat hasil uji signifikansi, dapat dikatakan bahwa hasil eksperimen konfirmasi/prediksi cukup memadai.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil optimasi uji *flexural* yang telah dilakukan, bahwa *setting* parameter yang tepat berdasarkan grafik respon yaitu:

- Posisi orientasi = 3 (berdiri atau panjang spesimen tegak lurus dari *bed*)
- *Fill pattern* = *lattice*
- *Fill density* = 75 %
- *Layer thickness* = 0,125 mm

5. Daftar Referensi

1. Bhattacharyya, K. G. and Johnson. A. R. (1997). *Statistical Concepts and Methods*. New York: Johnson Wiley & Sons, Inc.
2. Boediono and Koster, W. (2002). *Teori dan Aplikasi Statistika dan Probabilitas*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
3. Cahyono, A. R. (2001). *Optimasi Proses Sizing Benang di PT. "X"*. (TA No. 0154485/MES/2001).

Unpublished undergraduate thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.

4. Carneiro, O. S., Silva, A. F. and Gomes, R. (2015). Fused Deposition Modelling with Polypropylene. *Journals of Materials and Design*, 83, 768-776.
5. Chennakesava, P. and Narayan, S. Y. (2017). Fused Deposition Modelling – Insights. *International Conference on Advantages in Design and Manufacturing*.
6. Esun HIPS. (2016). *Esun Products and Materials*. Retrieved December 12, 2017, from: <http://www.esun3d.net/products/95.html>
7. Kumar, L., Kumar, V., and Haleem, A. (2016). Rapid Prototyping Technology for New Product Development. *International Journal of Innovative Science, Engineering, and Technology*, 3, 287-292.
8. Soejanto, I. (2009). *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
9. Tanoto, Y. Y., Anggono, J., Siahaan, I. H., and Budiman, W. (2016). The Effect of Orientation Difference in Fused Deposition Modelling of ABS Polymer on the Proccesing Time, Dimension Accuracy, and Strength. *International Conference on Engineering, Science, and Nanotechnology*, 3(5) 1-7.