

PENENTUAN *SETTING* OPTIMAL MESIN 3D PRINTER BERBASIS *FUSED DEPOSITION MODELING* MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Anggit Prakasa⁽¹⁾, Setya Permana Sutisna⁽¹⁾, Anton Royanto Ahmad⁽¹⁾

⁽¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik - Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. K.H Sholeh Iskandar Kedung Badak Km.2 Bogor 16162
email : anggit.prakasa99@gmail.com

Abstract

The 3D printers process is applied to create prototype components, but at the last 3D Printers are often applied as last products. So, high accuracy is required in this case. In this research will find the optimal setting of the dimensional accuracy 3D printers based fused deposition modeling. The method used is the Taguchi method, the reason for using this method its efficiency, this is because the Orthogonal Array matrix requires less number of experiments than the classical experimental design. Analysis of Variance is also needed in this method to see the factors that significantly influence the response variable. The results of this study indicate that the factors that significantly influence is printspeed by contributing 53.08%, flowrate contributes 16.4%, and temperature heater block contributes 3.85% and optimal setting is temperature heater block 190°, print speed 60mm/s and flowrate 6.28 mm³/s. (A1, C3 dan D2).

Keywords: 3D Printers, Dimensional Accuracy, Taguchi Method, ANOVA.

1. PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini hasil cetak 3D Printer sering diterapkan sebagai produk akhir. Sehingga, akurasi yang tinggi dibutuhkan dalam kasus ini. Keakuratan dimensi pada proses 3D Printer mendapat perhatian penting dalam literatur [1-4]. Namun, proses percetakan 3D Printer menjadi teknologi yang relatif baru dan memiliki studi publikasi yang terbatas. Pada proses 3D Printer khususnya berbasis FDM ada banyak faktor yang mempengaruhi keakuratan dimensi mulai dari *temperature heater block*, *temperature heatbed*, *print speed* (kecepatan gerak motor), dan *flowrate* (laju aliran ekstrusi).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap keakuratan dimensi serta mendapatkan setingan yang optimal untuk mendapatkan hasil terbaik dari mesin 3D printer yang kami bangun.

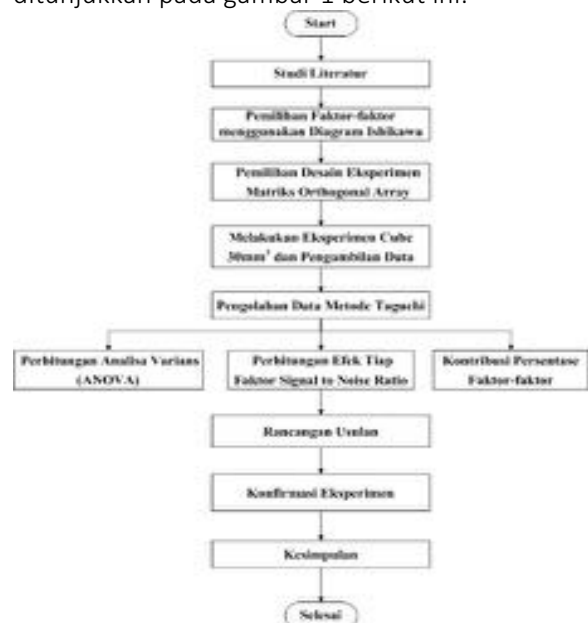
Batasan masalah yang diambil untuk penelitian ini adalah :

- 1) Mesin yang dipakai adalah Mesin 3D Printer FDM-UIKA01 tipe *cartesian* berbasis FDM.
- 2) Material yang digunakan adalah *Polylactic Acid* (PLA).
- 3) Eksperimen ini difokuskan berbentuk kubus 30mm³, untuk memperoleh keakuratan dimensi dari sumbu X,Y,Z.
- 4) Setting alat : *shell thickness* 0,8mm, *layer thickness* 0,1 mm, *bottom/top thickness* 0,6 mm, *fill density* 0%, *bottom speed* 20mm/s,

retraction speed 40mm/s, *travel speed* 80mm/s, *diameter nozzle* 0,4 mm.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini metode yang dipakai adalah metode Taguchi. Alasan pemilihan metode ini adalah efisiensinya. Dengan kata lain, metode Taguchi membutuhkan jumlah percobaan yang lebih sedikit dibandingkan rancangan eksperimen yang klasik. Adapun diagram alir (*flowchart*) penelitian akan ditunjukkan pada gambar 1 berikut ini:

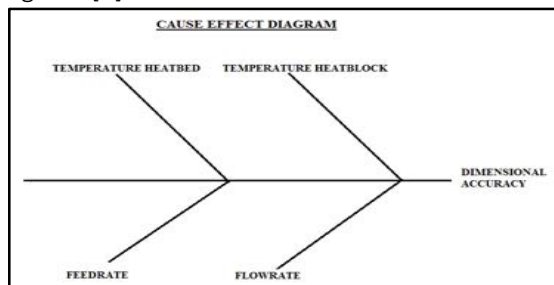


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Dari diagram alir yang penulis lakukan, tahap studi literatur adalah mencari sumber-sumber informasi, mencari data-data yang diperlukan, mencari sumber penelitian sejenis yang berkaitan dengan keakuratan dimensi hasil cetak 3D Printer.

2.1 Diagram Ishikawa

Pembuatan diagram Ishikawa diperlukan untuk mengetahui penyebab dari keakuratan dimensi. Dari penyebab-penyebab tersebut kemudian digolongkan menjadi faktor-faktor yang akan dikendalikan menggunakan metode Taguchi [5].



Gambar 2. Diagram Sebab akibat untuk Keakuratan dimensi.

2.2 Orthogonal Array (OA)

Orthogonal Array (OA) merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total dimana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan factorial penuh (Ross,1996)[6]. Pada penelitian ini menggunakan OA L₉ (3⁴) dikarenakan faktor yang diduga berpengaruh pada keakuratan dimensi ada 4 faktor serta 3 level yang divariasikan.

Tabel 1. Orthogonal Array (OA L₉).

| Experiment no. | Factor A | Factor B | Factor C | Factor 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 |

2.3 Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadrat dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. Semakin tinggi nilai SNR maka semakin *robust* terhadap faktor noise. Pada penelitian ini SNR yang dipilih merupakan *nominal to better* dikarenakan karakteristik kualitas dalam penelitian ini menuju suatu nilai/target tertentu [7]. Berikut ini merupakan rumus SNR dari *nominal to better*.

$$\eta = 10 \log_{10} \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \quad (1)$$

2.4 Analisa Varians (ANOVA)

Analisis Varians adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif mengestimasi kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon [8].

a) Sum of square due to mean (SS_m)

$$SS_m = n\bar{y}^2 \quad (2)$$

Dimana: n = jumlah seluruh percobaan.
 \bar{y} = rata-rata seluruh percobaan.

b) Sum of square (SS)

$$SS = \left[\sum (n_{xi} \bar{x}_i^2) \right] - SS_m \quad (3)$$

Dimana: n_{xi} = jumlah percobaan faktor.
 \bar{x}_i^2 = hasil eksperimen percobaan faktor.

c) Total sum of square (SS_T)

$$SS_T = \sum y^2 - SS_m \quad (4)$$

Dimana: $\sum y^2$ = jumlah kuadrat seluruh percobaan.

d) Sum of Square due to Error (SS_e)

$$SS_e = SS_T - \sum SS \quad (5)$$

e) Mean Square

$$\bullet \quad MS = \frac{SS}{df} \quad (6)$$

$$\bullet \quad MS_e = \frac{SS_e}{df} \quad (7)$$

Dimana: df = degree of freedom
 $= (kA)-1 = (\text{jumlah level faktor A})-1$

f) F-ratio

$$\text{F-ratio} = MS / MS_e \quad (8)$$

$$\text{F-ratio(A)} = MS_A / MS_e$$

- **Kontribusi Persentase Faktor-faktor**

Untuk mengetahui faktor-faktor yang memberikan kontribusi yang besar, maka dilakukan penggabungan (*pooled*) beberapa faktor yang kurang signifikan. Dengan kata lain faktor yang tidak berpengaruh berarti nilai *Sum of square*-nya merupakan bagian dari nilai *Sum of square error* (SS_e) [9]. Berikut ini merupakan rumus perhitungan analisa varians dengan *pooling up*.

a) **Sum of square (pooled error)**

$$SS_{(pooled)} = SS_e + SS_{(insignificant)} \quad (9)$$

Dimana: $SS_{(insignificant)}$ = jumlah kuadrat dari faktor yang tidak berpengaruh.

b) **Degree of freedom (pooled error)**

$$df_{(pooled)} = df_e + df_{(insignificant)} \quad (10)$$

c) **Mean Square**

$$MS = \frac{SS_{(pooled)}}{df_{(pooled)}} \quad (11)$$

d) **Pure Sum of Square due to Error (SS_e')**

$$SS_e' = SS_T - \sum SS' \quad (10)$$

e) **Persen kontribusi (ρ)**

$$\rho = (SS' / SS_T) \times 100\% \quad (11)$$

Setelah perhitungan ANOVA telah dilakukan, tindakan selanjutnya yaitu melakukan konfirmasi percobaan, untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisis.

3 HASIL PENELITIAN

3.1 Rancangan Eksperimen

Dalam rancangan eksperimen penelitian ini terdapat 4 faktor dengan rancangan 3 level. Dari faktor-faktor terkontrol yang didapat dari analisa diagram sebab akibat (diagram ishikawa) dapat diambil beberapa variabel, yaitu :

- **Variabel respon** : Keakuratan dimensi
- **Variabel bebas/faktor** : *Temperature Heater block*, *Temperature Heatbed*, *Print Speed* (Kecepatan gerak motor), *Flowrate* (Laju aliran ekstrusi).

Pada faktor *feedrate* atau *print speed* merupakan kecepatan gerak motor di semua sumbu yakni XYZ. Berikut ini merupakan faktor dan level beserta nilainya yang akan ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Tabel pengujian metode Taguchi

| Factor | | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|--------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| A | <i>Heater Block</i> | 190 °C | 200 °C | 210 °C |
| B | <i>Heatbed</i> | 60 °C | 70 °C | 80 °C |
| C | <i>Print Speed</i> | 40 mm/s | 50mm/s | 60mm/s |
| D | <i>Flowrate</i> | 5.65 mm ³ /s | 6.28 mm ³ /s | 6.90 mm ³ /s |

3.2 Hasil Eksperimen

Dalam pengambilan data spesimen *cube* 30mm³, pengukuran spesimen diambil dengan tiga sisi yang berbeda yaitu sisi sebelah kanan, sisi sebelah kiri dan ditengah. Hal ini dikarenakan mesin *3D Printer* berbasis FDM bekerja secara *layer by layer*. Data-data hasil eksperimen akan ditunjukkan pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Data hasil eksperimen OA L₉.

| Trial No. | FAKTOR | | | | HASIL EKSPERIMEN (mm) | | |
|-----------|--------|---|---|---|-----------------------|-----------|-----------|
| | A | B | C | D | \bar{X} | \bar{Y} | \bar{Z} |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 30,3 3 | 30,09 | 30,2 3 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 30,3 2 | 30,17 | 30,0 2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 30,3 6 | 30,09 | 30,0 9 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 30,4 7 | 30,23 | 29,7 2 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 30,1 3 | 29,96 | 29,6 1 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 30,4 7 | 30,33 | 30,0 3 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 30,1 7 | 30,10 | 30,0 4 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 30,6 5 | 30,67 | 30,0 6 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 30,3 4 | 30,08 | 29,5 4 |

3.3 Pengolahan Data

- **Perhitungan Mean, Standar Deviasi dan SNR**

Data dari tabel 3 kemudian diolah untuk mendapatkan rata-rata, standar deviasi dan *signal to noise ratio* untuk masing-masing kombinasi. SNR yang dipilih merupakan *Nominal to Better*, karena karakteristik kualitas dalam

penelitian ini menuju suatu nilai atau target tertentu. Hasil perhitungan dari rata-rata, standar deviasi, dan *Signal to Noise Ratio* tersebut akan disajikan pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Rata-rata, Standar Deviasi dan SNR.

| No. | FAKTOR | | | | Mean (mm) | Standar Deviasi | SNR |
|-----|--------|---|---|---|-----------|-----------------|--------|
| | A | B | C | D | μ | σ | η |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 30,22 | 0,12 | 47,75 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 30,17 | 0,15 | 46,07 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 30,18 | 0,16 | 45,74 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 30,14 | 0,38 | 37,93 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 29,90 | 0,26 | 41,10 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 30,28 | 0,23 | 42,48 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 30,10 | 0,07 | 52,88 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 30,46 | 0,35 | 38,88 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 29,99 | 0,41 | 37,38 |

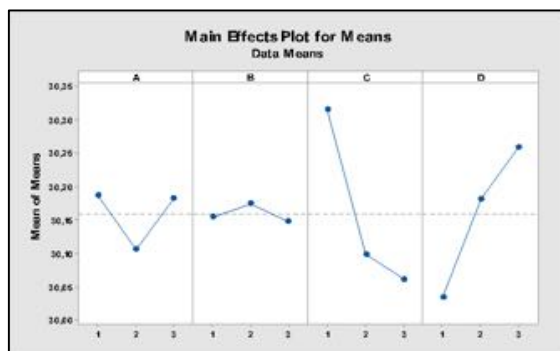
- Perhitungan Efek Tiap Faktor untuk Mean dan SNR

Dari tabel 4 kemudian dilakukan perhitungan efek untuk mean dan efek untuk *signal to noise ratio*. Berikut ini merupakan efek tiap faktor untuk Mean dan efek tiap faktor untuk *Signal to noise ratio*, yang akan ditunjukkan pada tabel 5 dan tabel 6.

1. Efek Tiap Faktor untuk Mean

Tabel 5. Tabel Efek untuk Mean.

| Level | A | B | C | D |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 30,19 | 30,15 | 30,32 | 30,04 |
| 2 | 30,11 | 30,17 | 30,10 | 30,18 |
| 3 | 30,18 | 30,15 | 30,06 | 30,26 |
| Efek | 0,08 | 0,03 | 0,25 | 0,22 |
| Rank | 3 | 4 | 1 | 2 |
| Optimum | A2 | B1 | C3 | D1 |



Gambar 3. Grafik efek tiap faktor untuk Mean.

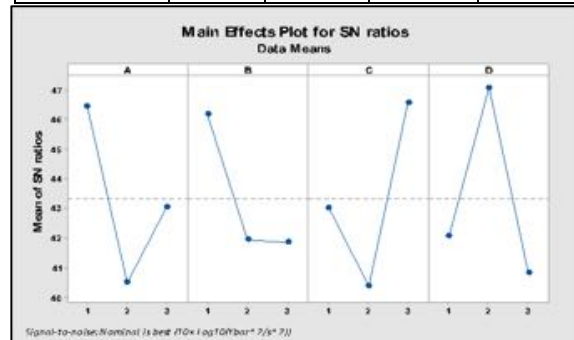
1. Efek Tiap Faktor untuk Signal to Noise Ratio.

Untuk mendapatkan level akan dipilih level yang menghasilkan nilai rata-rata *S/N Ratio* paling tinggi diantara level yang lain. Dipilihnya nilai *S/N Ratio*

terbesar karena semakin tinggi nilai *S/N Ratio* berarti semakin *robust* (tangguh) terhadap faktor noise [5].

Tabel 6. Tabel Efek untuk Mean.

| Level | A | B | C | D |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 46,52 | 46,18 | 43,03 | 42,08 |
| 2 | 40,50 | 41,95 | 40,46 | 47,14 |
| 3 | 43,05 | 41,87 | 46,57 | 40,85 |
| Efek | 6,01 | 4,32 | 6,11 | 6,29 |
| Rank | 3 | 4 | 2 | 1 |
| Optimum | A1 | B1 | C3 | D2 |



Gambar 4. Grafik efek tiap faktor untuk Mean

- Perhitungan Analisa Varians (ANOVA)

Selain analisis efek mean dan SNR, hasil eksperimen juga dianalisa dengan analisa varian (ANOVA). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan. Berikut ini merupakan hasil perhitungan Analisa Varians yang akan disajikan pada tabel 8. berikut ini.

Tabel 8. Hasil perhitungan Analisa Varians.

| Source | Factor | SS _m | SS | df | MS | F-ratio |
|--------------------------|-----------------------|-----------------|------|----|-------------|---------|
| A. | Heater (Temperature) | 24559 | 0,03 | 2 | 0,0171 | 8,4675 |
| B. | Heatbed (Temperature) | | 0,01 | 2 | 0,0027 | 1,3370 |
| C. | Print Speed | | 0,35 | 2 | 0,1764 | 87,3489 |
| D. | Flowrate | | 0,22 | 2 | 0,1116 | 55,2615 |
| Total (SS _T) | | - | 0,65 | 26 | 0,02507503 | - |
| Error (SS _e) | | - | 0,04 | 18 | 0,002019488 | - |

Dari tabel 8 diatas dapat dilihat bahwa ada tiga faktor yang secara signifikan mempengaruhi *dimensional accuracy*, yaitu faktor A, C dan D karena harga F-rasionya lebih besar dari F-tabel (0,05) (2,18) = 3,55 dengan *significant level* α = 0,05.

- Kontribusi Persentase Faktor-faktor

Setelah diketahui faktor-faktor yang mempunyai pengaruh terhadap variabel respon yaitu keakuratan dimensi, maka perlu dihitung besar persentase faktor tersebut. Namun,

sebelumnya perlu dikumpulkan terlebih dahulu faktor yang tidak mempunyai pengaruh terhadap hasil *pooled e*. Dengan kata lain faktor yang tidak berpengaruh berarti nilai *Sum of square*-nya merupakan bagian dari nilai *Sum of square error* (SS_e). Hasil perhitungan akan ditunjukkan pada tabel 7 berikut ini:

Tabel 7. Perhitungan Analisa Varians dengan *Pooling*.

| SOURCE | df | SS | MS | F-ratio | SS' | p % |
|--------------|----|------|-------------|---------|--------|-------|
| A | 2 | 0.03 | 0.0171 | 6.84 | 0.025 | 3.85 |
| B | 2 | 0.01 | 0.0027 | - | - | - |
| C | 2 | 0.35 | 0.1764 | 70.56 | 0.345 | 53.08 |
| D | 2 | 0.22 | 0.1116 | 44.64 | 0.1066 | 16.4 |
| Error (Sse) | 18 | 0.04 | 0.002019488 | - | - | - |
| Total SSt | 26 | 0.65 | 0.02507503 | - | 0.65 | 100 |
| Pooled Error | 20 | 0.05 | 0.0025 | 1 | 0.1734 | 26.68 |

Dari tabel 7 diatas menunjukkan bahwa kontribusi varians terbesar adalah faktor C (*print speed*) yakni sebesar 53,08 %, selanjutnya faktor D (*flowrate*) sebesar 16,4 % dan faktor A (*temperature heater block*) hanya sebesar 3,85 % sedangkan untuk *pooled error* memberikan kontribusi varians sebesar 26,68%.

3.4 Rancangan Usulan

Dari analisa yang telah dilakukan maka diusulkan sebuah rancangan sebagai setingan optimal mesin, yakni faktor dan level A1, C3 dan D2. Sedangkan untuk faktor B, dapat ditentukan pada sembarang level karena nilai F-ratio dari faktor B lebih kecil dari F-tabel. Dipilihnya nilai S/N Ratio terbesar karena menurut konsep Taguchi pencapaian kualitas terbaik dengan meminimalkan deviasi produk dari suatu target dan juga semakin tinggi nilai S/N Ratio berarti semakin *robust* (tangguh) terhadap faktor noise [5].

3.5 Konfirmasi Percobaan

Tujuan dari konfirmasi percobaan ini adalah untuk memvalidasi kesimpulan yang ditarik selama tahap analisis [10]. Setelah rancangan optimal telah ditentukan maka perlu diketahui prediksi respon dari rancangan optimal tersebut. Kemudian barulah melakukan konfirmasi percobaan untuk dibandingkan dengan prediksi respon. Jika rata-rata hasil konfirmasi percobaan berada dalam batas *confidence interval*, maka eksperimen tersebut yakin bahwa faktor yang signifikan dan level yang ditentukan adalah benar [10]. Namun sebaliknya, jika rata-rata hasil konfirmasi percobaan berada diluar batas CI, maka eksperimen telah memilih faktor dan level

yang salah, maka dari itu diperlukan eksperimen yang lebih lanjut [10].

Untuk rancangan usulan A1,C3,D2 besar prediksi dari rata-rata faktor adalah:

$$\begin{aligned}\hat{\mu} &= \bar{A1} + \bar{C3} + \bar{D2} - 2\bar{T} \\ &= 30,19 + 30,06 + 30,18 - (2 \times 30,16) \\ &= 30,11\end{aligned}$$

Selanjutnya besar rata-rata hasil prediksi ini akan dibandingkan dengan kondisi hasil eksperimen memakai *setting* optimal.

Tabel 8. Penentuan faktor dan level pada konfirmasi percobaan.

| Factor | | Level | |
|--------------------------------|-----------------------------|-------|-------------------------|
| Source | Information | | |
| A <i>Heater (Temperature)</i> | <i>Significant Factor</i> | 1 | 190°C |
| B <i>Heatbed (Temperature)</i> | <i>Insignificant Factor</i> | - | - |
| C <i>Print Speed</i> | <i>Significant Factor</i> | 3 | 60mm/s |
| D <i>Flowrate</i> | <i>Significant Factor</i> | 2 | 6.28 mm ³ /s |

Hasil konfirmasi percobaan dapat dilihat pada tabel 9. Pada tahap percobaan dilakukan 10 kali pencetakan pada mesin *3D Printer*.

Tabel 9. Konfirmasi Eksperimen menggunakan *Setting* Optimal.

Confirmation Experiment A1, C3, D2

| Trial No. | \bar{X} | \bar{Y} | \bar{Z} |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 30.24 | 30.10 | 29.62 |
| 2 | 30.37 | 30.12 | 29.61 |
| 3 | 30.12 | 30.26 | 29.53 |
| 4 | 30.04 | 30.17 | 29.70 |
| 5 | 29.99 | 30.34 | 29.88 |
| 6 | 30.06 | 30.17 | 29.97 |
| 7 | 30.08 | 30.32 | 29.86 |
| 8 | 30.35 | 30.15 | 29.75 |
| 9 | 30.28 | 30.07 | 29.79 |
| 10 | 30.21 | 30.14 | 30.02 |
| μ | | | 30.04 |

- **Confidence Interval (CI₃) dari Konfirmasi Percobaan**

Confidence Interval (selang kepercayaan) digunakan dalam percobaan konfirmasi untuk memverifikasi prediksi [10]. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$CI_3 = \sqrt{F_{\alpha;1;ve} \times V_{ep} \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)}$$

$$n_{eff} = \frac{N}{1 + [\text{total derajat kebebasan estimasi } \mu]}$$

Dimana: F = F-tabel

α = tingkat signifikan

ve = derajat kebebasan *pooled error*.

V_{ep} = *pooled error variance*.

r = ukuran sampel konfirmasi

percobaan.

N = total number of samples.

$$\bullet \quad n_{eff} = \frac{9}{1+6} = 1,29$$

$$\bullet \quad CI_3 = \sqrt{F_{0.5;1;20} \times 0.025 \left(\frac{1}{1,29} + \frac{1}{r} \right)}$$

$$= \sqrt{0,47 \times 0.025 \left(\frac{1}{1,29} + \frac{1}{30} \right)}$$

$$= 0,098$$

Dengan demikian,

$$\hat{\mu} - CI < \mu < \hat{\mu} + CI$$

$$30,11 - 0,098 < \mu < 30,11 + 0,098$$

$$30,012 < \mu < 30,208$$

Dari hasil perhitungan selang kepercayaan (*confidence interval*) bahwa μ konfirmasi percobaan masih berada dalam batas *confidence interval*, sehingga eksperimen tersebut yakin bahwa faktor yang signifikan dan level yang ditentukan adalah benar.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah :

1. Berdasarkan hasil perhitungan dengan memanfaatkan *Analysis of Variance* (ANOVA), didapatkan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh pada *dimensional accuracy* adalah faktor C *print speed* memberikan kontribusi sebesar 53,08%, faktor D *flowrate* memberikan kontribusi sebesar 16,4%, dan faktor A *temperature heater block* memberikan kontribusi sebesar 3,85%.
2. Rancangan level-level yang terbaik dalam menghasilkan *dimensional accuracy* yang mendekati target 30mm dan memiliki S/N ratio tinggi berdasarkan percobaan metode Taguchi adalah:
 - a) Faktor A atau *temperature heater block* menggunakan level 1 sebesar 190°C.
 - b) Faktor B atau *temperature heatbed* dapat ditentukan pada sembarang level.
 - c) Faktor C atau *print speed* (kecepatan gerak motor) menggunakan level 3 sebesar 60 mm/s.

d) Faktor D atau *flowrate* (laju aliran ekstrusi) menggunakan level 2 sebesar 6.28mm³/s.

Penelitian lebih lanjut diperlukan dengan menambahkan faktor lain yang masih dapat dikendalikan serta menggunakan level yang lebih banyak, karena semakin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen akan semakin teliti.

5. REFERENSI

- [1] L.M Galantucci ,I. Bodi, J. Kacani , F. Lavecchia: 2015 "*Analysis Of Dimensional Performance For A 3d Open-Source Printer Based Fused Deposition Modeling Technique*" Department of Production and Management – Polytechnic University of Tirana, Albania.
- [2] M.N Islam, Brian Boswell and A Pramanik 2013. "*An Investigation Of Dimensional Accuracy Of Part Produce By Three-Dimensional Printing*".
- [3] Stephen, B, Azimi.P., E.O. Zieneb., and Ramos. T., 2013, "*Ultrafine Particle Emissions from Desktop 3D Printers*", atmospheric environment volume 79(2013) hal 334—339.
- [4] Yuan, L , 2008 , "*A Preliminary Research on Development of A Fiber-Composite, Curved FDM system*", National University of Singapore.
- [5] Andriani, D. Puspita. "*Metode Taguchi-Pengendalian Kualitas*". Program Studi Teknik Industri Universitas Brawijaya.
- [6] Wahyu H Patricia, Wuryandari T, 2011. "*Optimalisasi Produk Dengan Menggunakan Metode Perancangan Toleransi Taguchi*". Program Studi Statistika FMIPA, Universitas Diponegoro.
- [7] Aman Muhammad. "*Rekayasa Kualitas Taguchi Dalam Perancangan Parameter Kualitas Produk*". Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik-Universitas Muhammadiyah Magelang.
- [8] Wahjudi D, Cahyono A. Rinaldi "*Studi kasus Optimasi Proses Sizing Benang di P.T XYZ*" Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra.
- [9] Wahjudi D, Gan Shu San, 2001. "*Rekayasa Mutu Besi Beton dengan Metode Tagucho*". Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra.

[10]Lee, Wei-chen. *“Confirmation Experiment-Chapter 6”*. National Taiwan University of Science Technology.