

STRESS ANALYSIS PADA HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE BLADE BERBAHAN KAYU

Roy Waluyo

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,

Universitas Ibn Khaldun Bogor

Email: roy.waluyo@uika-bogor.ac.id

Abstract

The blade turbine is a component that experiences a very high stress on a wind turbine. Materials often used are aluminum composite, polymer and even steel. Aluminum has a high fatigue. Plastic is very suitable But it requires mold while steel has a great weight. Wood is an alternative material for a blade turbine. Because it is lightweight, strong, easily shaped, and has high fatigue resistance and is easy to obtain. In this research, a stress analysis on a blade with balsa wood material with fixed force 5 Newton is applied. The result of analysis by using Autodesk Inventor student version, shows that the minimum Stress that occurs is: 12.1265 N / m^2 and the maximum stress is: 955595 N / m^2 . The maximum stress occurs at the point / node 390 or the area near the assembly hub or fixed geometry marked in red.

keywords : *stress analysis, turbine blade, wood*

1. Pendahuluan

Krisis energi yang terjadi di abad 21 ini sangat signifikan, dikarenakan eksploitasi sumber daya alam yang sangat berlebihan [1]. PLT-Angin mengalami peningkatan di pasar industri pembangkit listrik dunia sebesar 6% ditahun 2011 dengan instalasi baru 40.5 GW [2].

Umumnya turbin angin memiliki dua tipe berdasarkan orientasi arah sumbu poros yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu vertikal memiliki varian tipe rotor seperti *Darrieus H-Rotor*, *Savonius Rotor* dan *Giromill Rotor* [3]. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros yang sejajar dengan tanah dan memiliki memiliki GGL induksi yang besar.

Blade adalah komponen yang mengalami tegangan sangat tinggi pada sebuah turbin angin. Jika *blade* patah, mungkin akan terbang jauh dan dapat menyebabkan kerusakan serius atau menimbulkan cedera. Jika kita merencanakan lokasi turbin angin kurang dari 100 meter dari area publik, bangunan atau jalan maka kita harus memastikan bahwa *blade* cukup kuat.

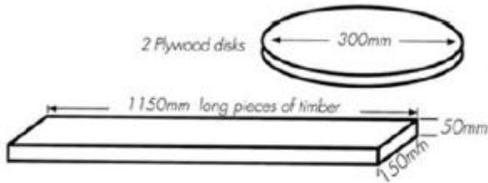
Blade memiliki peranan penting, efisiensi turbin angin poros horizontal dipengaruhi kecepatan angin dan jumlah *blade* [4]. Kayu Mungkin merupakan pilihan baik untuk sebuah

turbine blade. Karena ringan, kuat, mudah dibentuk, dan memiliki ketahanan fatigue yang tinggi. Logam (khususnya Aluminium) memiliki kecenderungan fatigue yang tinggi. Sedangkan Baja memiliki bobot yang besar. Plastik sangat cocok untuk *blade* dan dalam faktanya *Polyester* berpenguat serat kaca merupakan material yang banyak digunakan. Akan tetapi membutuhkan cetakan sebagaimana kita mengukir (*machining*) pada *blade* dari material kayu.

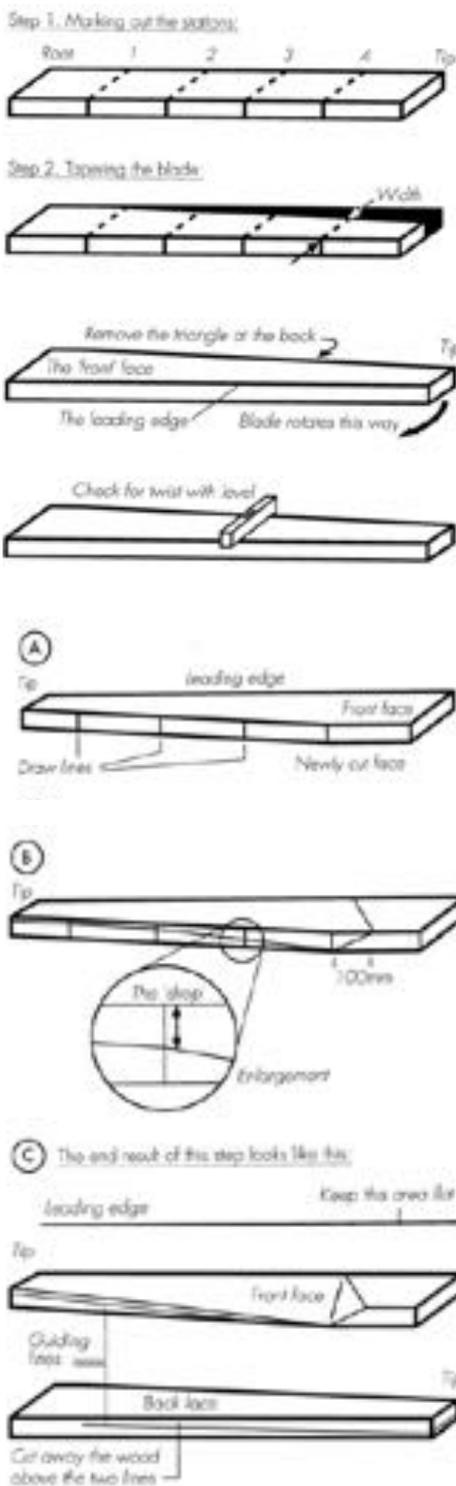
Perhitungan kekuatan sebuah *blade* dapat dilakukan dengan berbagai cara mulai dari perhitungan manual, pengujian langsung (*field testing*), atau dengan simulasi perangkat lunak. Simulasi dengan perangkat lunak umumnya digunakan untuk mendapatkan desain optimum dari beberapa alternatif desain [5].

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisis kekuatan, *displacement* dan *safety factor* terhadap *Blade* turbin dengan material kayu balsa dan mencari posisi tegangan maksimum. Informasi besarnya tekanan dan posisi/titik dimana terjadinya tegangan maksimum diharapkan dapat dijadikan referensi pada perancangan *blade* berikutnya.

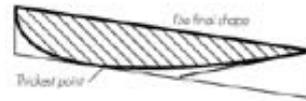
Desain blade



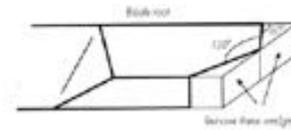
Gambar 1. Raw Material blade [6]



Gambar 2. Tahapan Pembentukan blade [6]



Gambar 3. Penampang Blade [6]

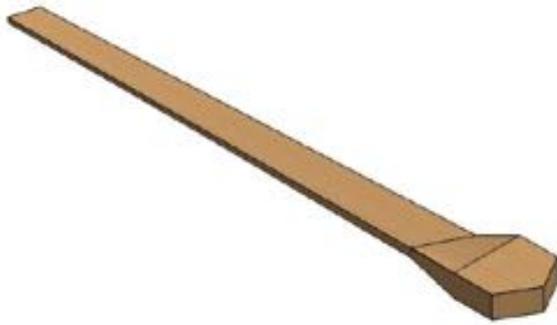


Gambar 4. Assembling the Hub [6]

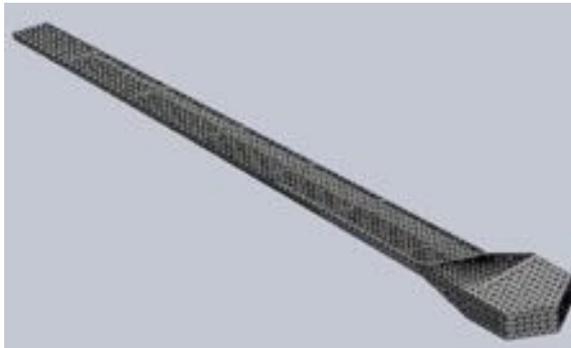
2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini pertama-tama digambar sebuah model blade seperti pada desain. Material blade material blade didefinisikan kayu (wood-Balsa). Kemudian masih dalam perangkat lunak yang sama, yaitu autodesk Inventor 2014 student version, dilakukan stress analysis dengan parameter analisis sebagai berikut:

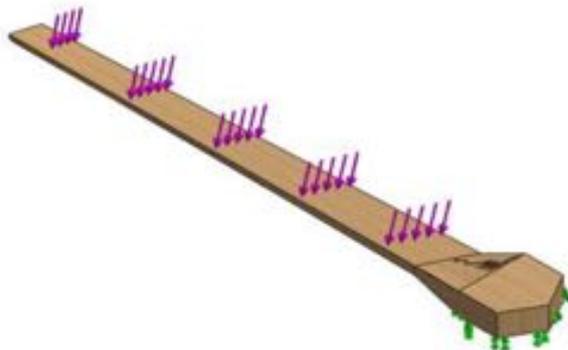
Material	:	Wood - Balsa
Yield strength	:	2e+007 N/m ²
Type	:	Apply normal force
Force	:	5 N
Mesh type	:	Solid Mesh
Mesher Used	:	Standard mesh
AutoTransition	:	Off
Include Mesh Auto	:	Off
Loops		
Jacobian points	:	4 Points
Element Size	:	13.2759 mm
Tolerance	:	0.663796 mm
Total Nodes	:	14723
Total Elements	:	8156
Maximum Aspect Ratio	:	19.523
% of elements with Aspect Ratio < 3	:	92.4
% of elements with Aspect Ratio > 10	:	0.282
% of distorted elements(Jacobian)	:	0



Gambar 5. Gambar desain blade



Gambar 6. Meshing pada blade



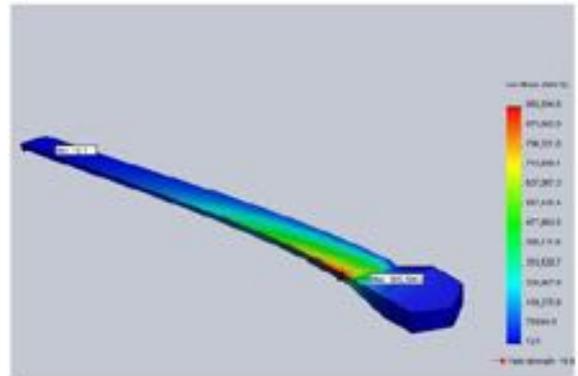
Gambar 7. fixed fixture dan Penempatan gaya

3. Hasil dan Pembahasan

- Tegangan (*Stress*)

Pada gambar 7 dapat dilihat, hub merupakan fixed geometri dan gaya di alikasikan sepanjang blade. Dari hasil analisis kekuatan, didapatkan hasil bahwa tegangan maksimum terjadi pada titik dekat *assembly hub* atau *fixed geometry*. Hal ini disebabkan pada titik tersebut memiliki luas penampang yang relatif kecil dibanding dengan luas penampang lainnya sepanjang *garis blade*. Pada titik/daerah tersebut merupakan daerah dimana terjadi momen maksimum.

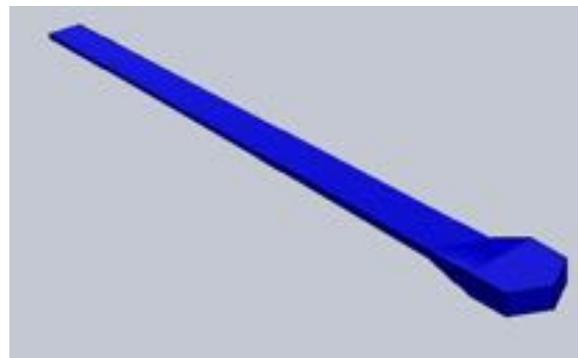
Tegangan minimum yang terjadi sebesar: 12.1265 N/m^2 pada titik/ Node: 303 Tegangan maksimum sebesar: 955595 N/m^2 terjadi pada titik/Node: 390



Gambar 8. Stress analysis

- Displacement

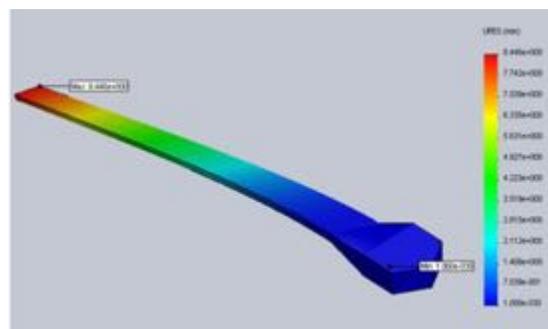
Displacement atau defleksi terbesar terjadi pada ujung Blade. Fenomena ini memiliki kesamaan dengan fenomena batang kantilever. Displacement minimum sebesar 0 mm Terjadi pada titik/node: 122 dan Displacement maksimum sebesar 8.44629 mm terjadi pada titik/node: 311



Gambar 9. Displacement pada Blade

- Safety Factor

Safety Factor adalah rasio antara yield strength material terhadap tegangan yang terjadi. Safety factor terbesar adalah 20.9293 Terjadi pada titik/Node: 390 dan safety factor terkecil sebesar $1.64927e+006$ Terjadi pada titik/node: 303 Hasil simulasi terhadap safety factor menunjukkan seluruh penampang blade berwarna biru. Hal ini berarti bahwa desain blade aman.



Gambar 10. Safety Factor

4. Kesimpulan

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan minimum yang terjadi sebesar: 12.1265 N/m^2 dan Tegangan maksimum sebesar: 955595 N/m^2
2. tegangan maksimum terjadi pada titik/node 390 atau daerah didekat assembly hub atau fixed geometry yang ditandai dengan warna merah pada gambar hasil simulasi tegangan (stress)
3. *Displacement* minimum sebesar 0 mm Terjadi pada titik/node: 122 dan *Displacement* maksimum sebesar 8.44629 mm terjadi pada titik/node: 311

5. Daftar Pustaka

- [1] Alamsyah, Hery., 2007, Pemanfaatan Turbin Angin Dua Sudu Sebagai Penggerak Mula Alternator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- [2] Bianchi A, Ferrara G, Ferrari L. "Design guidelines for H-Darrieus wind turbine: Optimization of the annual energy yield". *Energy conversion and management* 89 (2015) 690-707.
- [3] Hau, Erich. (2005). "Winds Turbines, Fundamentals, Technologies, Application, Economics". Second edition. Germany: Spriner-Verlag berlin Heidelberg (2006).
- [4] Aryanto F, I Made Mara, Made Nuarsa, *Pengaruh kecepatan angin dan variasi jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros horizontal*, *Dinamika Teknik Mesin*, Volume 3 No. 1 Januari 2013 hal: 50-59
- [5] Achmad Racmad Tullah, Made K. Diputra, Soeharsono, *Stress analysis pada Horizontal Wind Turbin Blade*, *Jurnal Poros* Volume 12 Nomer 1 Mei 2014 hal: 41-45
- [6] Piggott Hugh, *Building your Own Wind Turbine* (Windpower Workshop), center for alternative Technology Publication.
- [7] Khurmi R.S., J.K. Gupta, 2015, *A Text Book of Machine Design*, Rasia Publishing House (PVT) LTD, Ram Nagar New Delhi.

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.

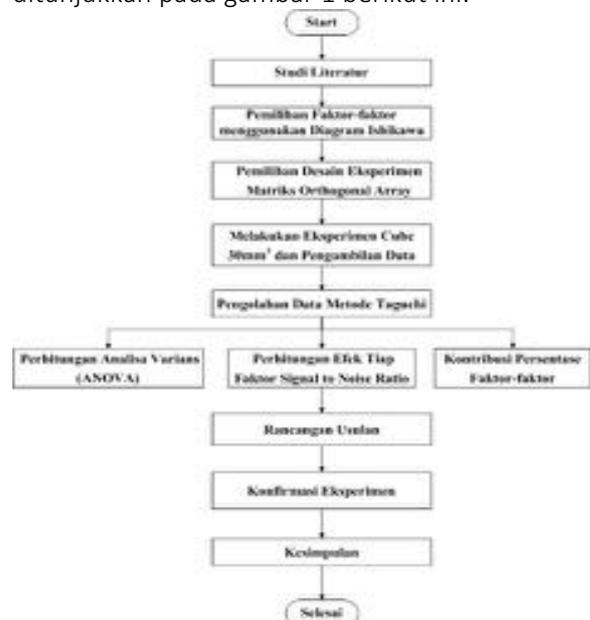
Batasan masalah yang diambil untuk penelitian ini adalah :

- 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:

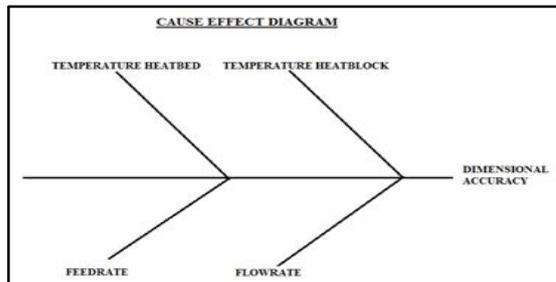


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

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	30,33	30,09	30,23
2	1	2	2	2	30,32	30,17	30,02
3	1	3	3	3	30,36	30,09	30,09
4	2	1	2	3	30,47	30,23	29,72
5	2	2	3	1	30,13	29,96	29,61
6	2	3	1	2	30,47	30,33	30,03
7	3	1	3	2	30,17	30,10	30,04
8	3	2	1	3	30,65	30,67	30,06
9	3	3	2	1	30,34	30,08	29,54

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

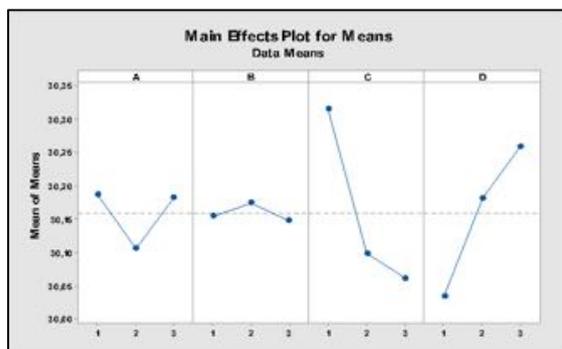
- Perhitungan Efek Tiap Faktor untuk Mean dan SNR

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.

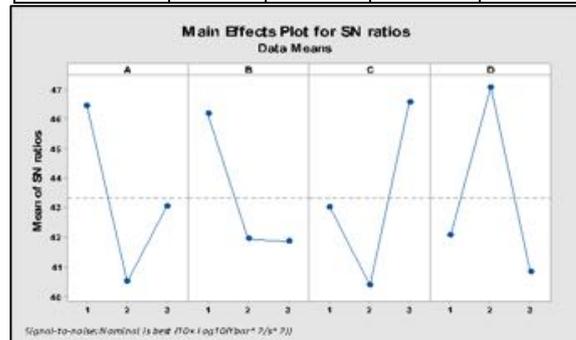
1. Efek Tiap Faktor untuk Signal to Noise Ratio.

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.