

Analisis Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Material ABS Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Lentur Menggunakan Metode Taguchi

Ginggi Navis Indra Cahya^a, Aris Widyo Nugroho^b Cahyo Budiyanoro^c,

^a UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Kasihan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

+62081222455569

e-mail: setiyawan2794@gmail.com

^b UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

Jl. Brawijaya, Kasihan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

+62274 387656

e-mail: ariswidyo.nugroho@umy.ac.id

Intisari

3D *printing* atau *additive manufacturing* merupakan teknologi yang saat ini perkembangannya cukup pesat dan banyak diaplikasikan sebagai teknologi *rapid prototyping*. Filamen *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) dan merupakan salah satu jenis polimer yang sering digunakan dalam teknologi 3D *printing*.

Penelitian ini dilakukan Sembilan kali percobaan dengan menggunakan metode desain eksperimen *orthogonal arrays* L9 (3³) dan tiga parameter proses yang digunakan yaitu *nozzle temperature*, *extrusion width* dan *feed rate* serta dengan tiga variasi level pada setiap parameter proses (230°, 240°, 250°, 0,2 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, 80%, 90%, 100%). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sifat mekanik kekuatan lentur dan akurasi dimensi.

Berdasarkan hasil analisis SNR dan ANOVA, parameter proses paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi didominasi oleh *extrusion width*, sedangkan untuk respon kekuatan lentur secara berurutan dipengaruhi oleh parameter proses *extrusion width* diikuti oleh *feed rate* dan *nozzle temperature*. Kombinasi parameter proses yang digunakan dalam pengujian eksperimen konfirmasi menunjukkan peningkatan kualitas produk 3D *printing* dengan memperbaiki nilai kekuatan lentur atau *flexural strength* dengan rata-rata sebesar 60.8 MPa yang membuktikan bahwa nilai tersebut berada pada interval kepercayaan dengan memenuhi 95% tingkat kepercayaan.

Kata Kunci: 3D *Printing*, FDM, ABS, Nozzle Temperature, Extrusion Width, Feed rate, Taguchi, Akurasi Dimensi, Kekuatan Lentur

1. PENDAHULUAN

Teknologi Three Dimensional (3D) Printing adalah salah satu terobosan baru dalam dunia industri manufaktur. Dengan prinsipnya menggunakan additive manufacturing, mengkonversi data 3D dari Computer Aided Design (CAD) secara langsung untuk di dijadikan prototipe fisik. Teknik pencetakan 3D printing beroperasi dengan cara membangun lapisan demi lapisan untuk membentuk sebuah prototipe (Dawoud dkk, 2015). Teknik *additive manufacturing* sendiri telah menarik banyak minat dimulai dari industri sampai kalangan akademik sebagai bahan penelitian karena dapat memberikan solusi dibidang produksi untuk menyederhanakan produk-produk dengan

desain yang rumit sampai dengan mengurangi *lead time* tanpa meninggalkan kualitas cetaknya. Sampai saat ini perkembangan sistem additive manufacturing sudah banyak tersedia dan dapat digunakan sesuai kebutuhan seperti *fused deposition modeling* (FDM), *stereolithography apparatus* (SLA), *continuous liquid interface production* (CLIP), *digital light processing* (DPL), *selective laser sintering* (SLS) dan lain sebagainya (Weng dkk, 2016).

Eksistensi 3D printing sebagai salah satu proses *additive manufacturing* yang dapat dilihat dari mesin yang sudah terdapat dipasaran telah mencapai bentuk yang lebih kompleks dan sederhana. Teknik *additive manufacturing* yang banyak terdapat dipasaran yaitu *rapid prototyping* dengan metode *fused deposition modeling* (FDM).

Fused deposition modeling (FDM) dalam prosesnya melelehkan suatu filament sampai pada titik lebur tertentu didalam sebuah *nozzle extruder* yang dipanaskan dan disimpan pada sebuah *platform build*. Penggunaan sistem gerak 3-axis yang di kontrol oleh suatu bahasa sistem *computer numerical control* (CNC) yang digunakan untuk menggerakkan nosel pada bidang XY pada proses pencetakan lapisan prototipe. Bidang Z sendiri bergerak untuk membuat tumpukan atau irisan ketebalan lapisan (*layer*) dengan siklus yang berulang hingga telah mencapai kondisi penuh sesuai desain prototipe yang dibuat (Dawoud dkk, 2015).

Ada banyak material filamen yang tersedia, pemilihan material sendiri bergantung pada jenis serta karakteristiknya sesuai dengan kebutuhan dalam pembuatan prototipe. Pada saat ini umumnya material filamen yang digunakan antara lain *polyactic acid* (PLA), *nylon*, *high density polyethylene* (HDPE), *polycarbonate* (PC), dan *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS).

Polimer ABS menjadi salah satu pilihan bahan yang umum untuk digunakan sebagai material filamen 3D printing yang sebelumnya PLA juga menjadi bahan yang paling banyak digunakan. Kedua material tersebut paling mudah digunakan dalam proses pencetakan karena tidak membutuhkan temperatur tinggi untuk melelehkan filamen pada ekstruder sehingga dapat mempercepat proses fabrikasi. ABS mempunyai karakteristik kekuatan yang baik, dan ringan untuk dijadikan sebuah prototipe (Yuan, 2008). ABS banyak digunakan sebagai komponen-komponen elektronik, otomotif, sampai dengan komponen benda-benda yang bergerak.

Dizon dkk, (2017) telah membahas sifat mekanik material FDM, dengan polimer ABS dan PLA sebagai parameter pengujian mengacu pada ASTM D790 tentang kekuatan lentur dan modulus lentur material dari produk FDM. Variabel proses diantaranya temperatur operasi yang difokuskan pada perbedaan temperatur setiap lapisannya, ketebalan, *fill density*, *travel speed* pada pembuatan produknya. Diketahui bahwa ketebalan mempengaruhi sifat mekanik material dan pada pengujian lentur sampel material ABS mempunyai sifat *anisotropik* yang signifikan di bawah beban tekan karena kerusakan lapisan lateral yang diakibatkan perbedaan suhu antar lapisan yang dapat mempengaruhi variasi kekuatan ikatan antar lapisan yang mempengaruhi sifat mekanik dari bagian yang di cetak.

Aziz (2017) melakukan penelitian uji tarik terhadap material ABS dengan standar ASTM D790 dengan parameter proses yang digunakan adalah *nozzle temperature*, *extrusion width* dan *infill density*. Berdasarkan hasil pengujian parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi produk 3D *printing* dengan bahan ABS adalah *nozzle temperature* dan *extrusion width* dengan rata – rata kontribusi

sebesar 27% dan 32% berdasarkan analisis ANOVA. Parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik pada produk 3D *printing* dengan bahan ABS adalah *infill density* dengan kontribusi paling besar yaitu 77% berdasarkan analisis ANOVA.

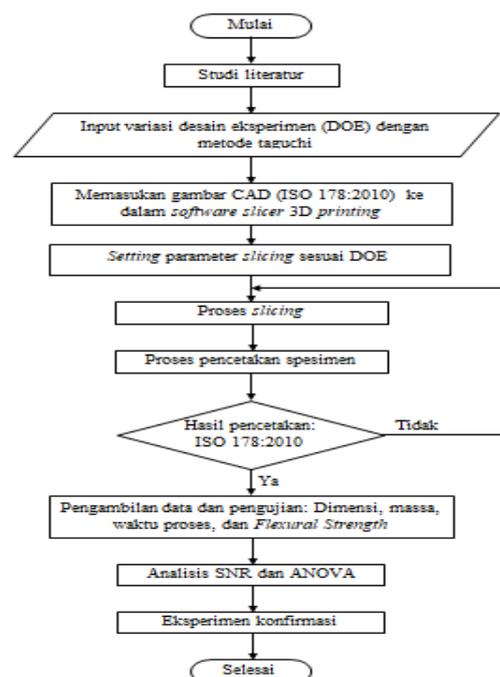
Christiyan dkk, (2016) melakukan penelitian proses 3D *printing* menggunakan material ABS terhadap kekuatan tarik dan lentur menggunakan standar ASTM D790 dengan parameter proses ketebalan lapisan (0,2 mm, 0,25 mm, 0,3 mm) dan kecepatan pencetakan 30 mm/s, 40 mm/s dan 50 mm/s serta temperature nozzle 190°C. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekuatan tarik dan lentur maksimum dilaporkan untuk sampel yang memiliki lapisan rendah ketebalan 0,2 mm dan kecepatan pencetakan 30 mm/s menghasilkan kekuatan tarik maksimal sebesar 28,5 MPa dan beban lentur maksimal sebesar 43 N. Sampel lain dengan kecepatan pencetakan maksimum ketebalan lapisan yang berbeda dari 0,25 dan 0,3mm telah menunjukkan pengurangan marjinal dalam nilai kekuatan. Kecepatan pencetakan rendah dengan ketebalan lapisan rendah memberikan ikatan yang lebih baik dengan lapisan sebelumnya karena itu menunjukkan kekuatan tarik dan lentur yang lebih baik

Sukindar dkk, (2017) melakukan penelitian 3D *printing* berbasis RepRap (*Replicating Rapid Prototyper*) bahan PLA. Parameter yang diujikan yaitu *layer thickness*, *shell thickness*, dan *printing speed* dengan tiga variasi level untuk setiap parameter. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa parameter *shell thickness* memberikan hasil signifikan ($p = 0,037$) dalam mempengaruhi hasil kekuatan tarik.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, penelitian ini memfokuskan optimalisasi parameter proses 3D *printing* pada bahan ABS dengan menggunakan desain eksperimen Metode Taguchi. Parameter proses yang diujikan meliputi *nozzle temperature*, *extrusion width* dan *feed rate*. Selanjutnya dilakukan pengambilan data akurasi dimensi dan pengujian tarik untuk mengetahui sifat mekanik produk. Hasil respon dianalisis menggunakan ANOVA dan SNR untuk mengetahui pengaruh parameter yang paling optimal serta kombinasi level optimal untuk memperbaiki kualitas produk 3D *printing*.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir



2.2 Bahan

Bahan filamen dalam penelitian ini menggunakan jenis ABS dengan diameter 1.75 mm.



Gambar 2. Filamen ABS

2.3 Design of Experiment (DOE)

Pembuatan desain eksperimen meliputi penentuan faktor dan level yang akan dimasukkan pada konfigurasi parameter di software slic3r. Parameter yang digunakan dalam penelitian adalah *nozzle temperature* (°C), *extrusion width* (mm), dan *feed rate* (%) dengan tiga variasi level perubahan. Besarnya nilai variasi level berasal dari perhitungan secara teoritis, percobaan pra-eksperimen dan dari jurnal penelitian sebelumnya. Parameter proses dan level ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter proses dan level

| Faktor | Parameter Proses | Level | | |
|--------|--------------------------------|-------|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 |
| A | <i>Nozzle Temperature</i> (°C) | 230 | 240 | 250 |
| B | <i>Extrusion Width</i> (mm) | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
| C | <i>Feedrate</i> (%) | 80 | 90 | 100 |

Pada penelitian ini tidak semua parameter dilakukan pengontrolan, tujuannya untuk memfokuskan pengamatan parameter proses yang akan diamati. Parameter lain dibuat sesuai pengaturan *default* yang sudah tersedia didalam program Slic3r, berdasarkan hasil pra-eksperimen dan merujuk hasil penelitian sebelumnya. Parameter proses *default* ditunjukkan pada tabel 2

Tabel 2. Parameter Default

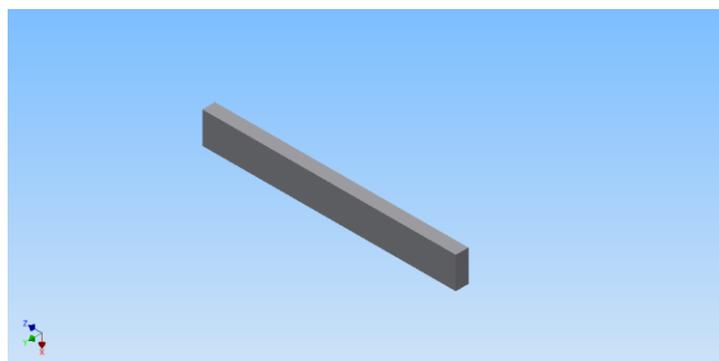
| Parameter Proses | Unit | Values |
|-------------------------------------|------|--------------------|
| <i>Perimeters</i> | - | 3 |
| <i>Solid Layer (top and bottom)</i> | - | 3 |
| <i>Top/bottom fill pattern</i> | - | <i>Rectilinear</i> |
| <i>Fill density</i> | - | 75% |
| <i>Print angle</i> | - | 0° |

Desain faktorial menggunakan matriks ortogonal L9 (3⁴) yang dapat diartika bahwa penelitian dilakukan sebanyak sembilan kali percobaan dan ada tiga parameter proses serta tiga perubahan pada variabel dalam setiap faktor parameteranya. Selanjutnya

dilakukan duplikasi sebanyak tiga kali pada setiap faktornya. Pemilihan matriks orthogonal disesuaikan berdasarkan jumlah percobaan, faktor, dan level yang akan dimati. Selanjutnya replikasi dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap percobaannya untuk mendapatkan ketelitian yang lebih tinggi

| No | Nozzle Temperatur (°C) | Extrusion Width (mm) | Feedrate (mm/s) | Jumlah Spesimen |
|----|------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 230 | 0.2 | 80 | 3 |
| 2 | 230 | 0.3 | 90 | 3 |
| 3 | 230 | 0.4 | 100 | 3 |
| 4 | 240 | 0.2 | 90 | 3 |
| 5 | 240 | 0.3 | 100 | 3 |
| 6 | 240 | 0.4 | 80 | 3 |
| 7 | 250 | 0.2 | 100 | 3 |
| 8 | 250 | 0.3 | 80 | 3 |
| 9 | 250 | 0.4 | 90 | 3 |

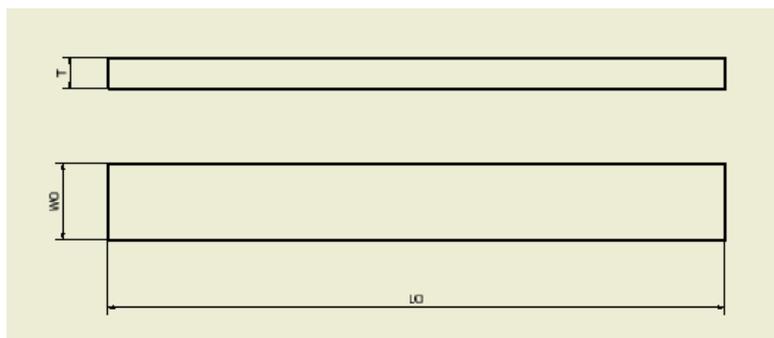
Desain objek digambar menggunakan *software* Inventor Profesional 2015. Dimensi objek dibuat sesuai standar spesimen uji bending untuk bahan polimer yaitu ISO 178:2010. Dimensi spesimen menurut standar ISO 178:2010 ditunjukkan pada tabel 4..



Gambar 3. Desain CAD

Tabel 4. Dimensi ISO 178:2010

| Bagian | Ukuran Standar (mm) |
|------------------------------|---------------------|
| LO (<i>length overall</i>) | 80 (+2) |
| WO (<i>width overall</i>) | 10,0 (±0,2) |
| T (<i>thickness</i>) | 4,0 (±0,2) |



Gambar 4. Dimensi standar ISO 178:2010

Setelah pembuatan desain, kemudian melakukan proses *slicing* dan *setting* parameter menurut DOE. Selanjutnya proses pencetakan spesimen sebanyak 27 spesimen. Kemudian dilakukan pengambilan data pada setiap spesimen meliputi massa produk, dimensi produk, dan hasil pengujian bending. Data yang telah didapat kemudian diolah dan dilakukan analisis menggunakan SNR dan ANOVA

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini produk yang dihasilkan berjumlah 27 spesimen dengan standar ISO 178:2010 dari sembilan percobaan dengan tiga kali replikasi setiap percobaannya yang dicetak menggunakan 3D printer prusa-i3. Kemudian dilakukan pengambilan data meliputi massa produk, dimensi produk, waktu proses pencetakan, dan pengujian lentur.

Tabel 5. Data pengukuran massa dan waktu cetak

| Percobaan | Massa (gram) | | | | Waktu Pencetakan (Menit) |
|-----------|--------------|----|----|-----------|--------------------------|
| | R1 | R2 | R3 | Rata-rata | |
| 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 69.1 |
| 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 38.4 |
| 3 | 2 | 2 | 3 | 2.33 | 25.5 |
| 4 | 2 | 3 | 2 | 2.33 | 61.6 |
| 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 34.4 |
| 6 | 2 | 2 | 2 | 2 | 32.1 |
| 7 | 3 | 2 | 2 | 2.33 | 55.2 |
| 8 | 2 | 2 | 2 | 2 | 43.3 |
| 9 | 3 | 2 | 3 | 2.67 | 28.3 |

Berdasarkan data pada Tabel 5. menunjukkan bahwa parameter *feed rate* dan *extrusion width* mempengaruhi nilai masa produk dan waktu pencetakan. Nilai *feed rate* yang semakin kecil dengan kombinasi *extrusion width* yang semakin besar akan meningkatkan massa produk, sedangkan nilai *feed rate* yang semakin kecil dengan kombinasi *extrusion width* yang semakin kecil akan membutuhkan waktu pencetakan yang semakin lama dimana pencetakan menggunakan parameter proses *feed rate* terbesar yaitu dengan nilai 100% dan nilai *extrusion width* terbesar yaitu 0.4 mm.

Tabel 6. Data hasil pengukuran dimensi

| Percobaan | Length Overall (Lo) | | | Rata-rata (mm) | Standar Deviasi | *Thickness (T) | | | Rata-rata (mm) | Standar Deviasi | Width (Wo) | | | rata-rata (mm) | Standar Deviasi |
|-----------|---------------------|-------|-------|----------------|-----------------|----------------|------|------|----------------|-----------------|------------|-------|-------|----------------|-----------------|
| | R1 | R2 | R3 | | | R1 | R2 | R3 | | | R1 | R2 | R3 | | |
| 1 | 80.19 | 80.23 | 80.27 | 80.23 | 0.04 | 3.24 | 3.7 | 3.82 | 3.59 | 0.31 | 10.32 | 9.96 | 9.82 | 10.03 | 0.258 |
| 2 | 80.12 | 80.13 | 80.7 | 80.32 | 0.33 | 3.35 | 3.28 | 3.26 | 3.30 | 0.047 | 10.17 | 10.17 | 10.34 | 10.23 | 0.098 |
| 3 | 80.18 | 80.12 | 80.18 | 80.16 | 0.035 | 3.26 | 3.76 | 3.78 | 3.6 | 0.295 | 10.35 | 10.24 | 10.15 | 10.25 | 0.100 |
| 4 | 80.11 | 80.19 | 80.14 | 80.15 | 0.040 | 3.25 | 3.51 | 3.55 | 3.44 | 0.163 | 10.21 | 10.19 | 10.18 | 10.19 | 0.015 |
| 5 | 80.11 | 80.14 | 80.07 | 80.11 | 0.035 | 3.41 | 3.37 | 3.34 | 3.37 | 0.035 | 10.16 | 10.25 | 10.28 | 10.23 | 0.062 |
| 6 | 80.14 | 80.08 | 80.02 | 80.08 | 0.06 | 3.54 | 3.6 | 3.62 | 3.59 | 0.042 | 10.25 | 10.33 | 10.34 | 10.31 | 0.049 |
| 7 | 80.16 | 80.18 | 80.12 | 80.15 | 0.031 | 3.65 | 3.32 | 3.25 | 3.41 | 0.214 | 10.22 | 10.31 | 10.13 | 10.22 | 0.090 |
| 8 | 80.13 | 80.11 | 80.16 | 80.13 | 0.025 | 3.58 | 3.59 | 3.33 | 3.5 | 0.147 | 10.23 | 10.42 | 10.2 | 10.28 | 0.119 |
| 9 | 80.1 | 80.04 | 80.07 | 80.07 | 0.03 | 3.54 | 3.58 | 3.5 | 3.54 | 0.040 | 10.22 | 10.29 | 10.1 | 10.20 | 0.096 |

Berdasarkan data hasil pengukuran dimensi produk untuk setiap replikasi dari percobaan yang ditunjukkan pada Tabel 6. hasil pengukuran dimensi Lo, T dan Wo diperoleh data dimensi dengan nilai diatas dan dibawah standar ISO 178:2010 namun nilai ini masih masuk dalam batas toleransi yang diijinkan.

3.1 Hasil Pengujian Lentur

Pengujian lentur dilakukan di laboratorium material Universitas Negeri Sebelas Maret (UNS) Surakarta. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai F_{max} yang kemudian digunakan sebagai data perhitungan untuk mengetahui nilai kekuatan lentur. Metode pengujian menggunakan standar pengujian ISO 178:2010 yaitu dengan kecepatan pengujian sebesar 10 mm/menit. Berikut adalah gambar spesimen hasil pengujian bending dan grafik F_{max} .

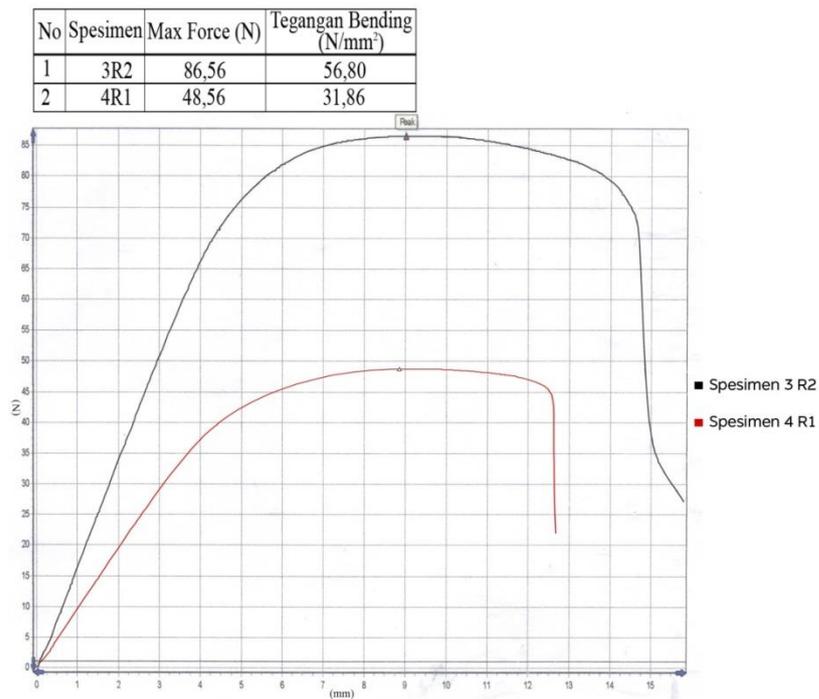


Gambar 5. Spesimen hasil uji bending

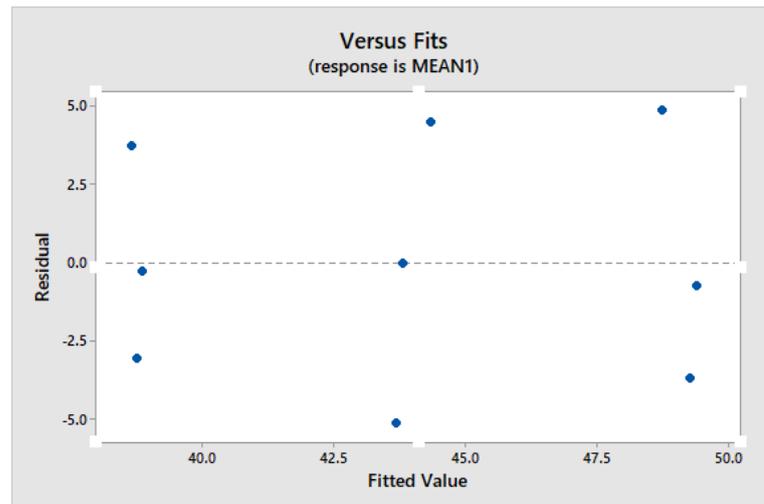
Tabel 7. Hasil uji tarik

| No | Fmax (N) | | |
|----|----------|-------|-------|
| | R1 | R2 | R3 |
| 1 | 52.67 | 72.07 | 68.85 |
| 2 | 59.77 | 52.77 | 63.6 |
| 3 | 71.95 | 86.56 | 86.5 |
| 4 | 48.56 | 52.15 | 62.33 |
| 5 | 75.73 | 60.98 | 63.22 |
| 6 | 64.48 | 72.73 | 71 |
| 7 | 60.64 | 61.48 | 54.05 |
| 8 | 80.97 | 75.31 | 66.9 |
| 9 | 69.6 | 76.16 | 76.38 |

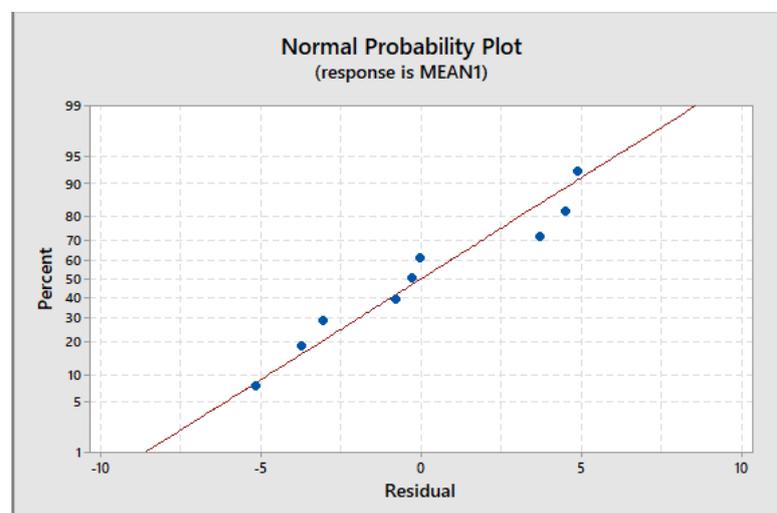
Berdasarkan data tabel hasil pengujian bending, Dari pengujian tersebut spesimen percobaan 3 replikasi ke 2 menghasilkan nilai F_{max} tertinggi sedangkan nilai F_{max} terendah dihasilkan oleh spesimen percobaan 4 replikasi ke 1. Berikut ini kurva hasil pengujian bending pada spesimen dengan nilai F_{max} terkecil dan F_{max} terbesar.



Gambar 6. Kurva percobaan 3 dan 4



Gambar 7. Grafik *Versus fit* nilai kekuatan lentur

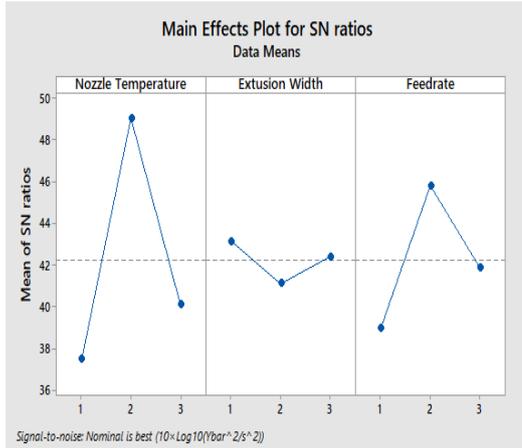


Gambar 8. Grafik *Normal probability* nilai kekuatan lentur

Berdasarkan dari grafik *versus fit* dan grafik *normal probability* diatas menunjukkan tingkat penyebaran data yang baik dan memiliki tingkat normalitas data yang baik sehingga data dapat dianalisis lanjutan menggunakan SNR dan ANOVA

3.2 Analisis SNR

Metode yang digunakan pada perhitungan SNR untuk respon akurasi dimensi produk dilakukan menggunakan metode SNR *Nominal Is Best* (NIB) atau tertuju pada nilai tertentu karena pada tahap ini pengukuran akurasi dimensi ditujukan untuk menentukan level parameter yang menghasilkan nilai penyimpangan terkecil dengan memilih parameter dengan nilai SNR tertinggi. Untuk menampilkan hasil perhitungan nilai SNR dalam bentuk tabel respon dan grafik main effect plot dengan urutan yang paling berpengaruh terhadap akurasi dimensi. Analisis SNR menggunakan *software Minitab 18*.

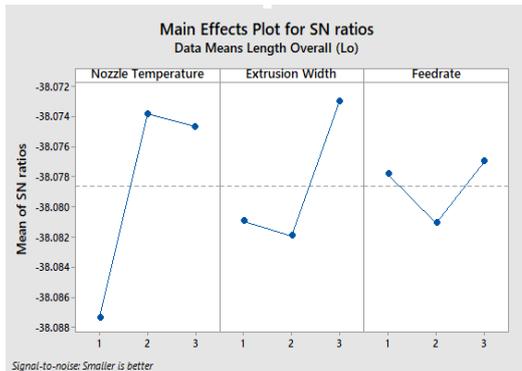


Gambar 10. Grafik SNR dimensi *width*

| Level | Nozzle Temperature | Extrusion Width | Feedrate |
|-------|--------------------|-----------------|----------|
| 1 | 37.45 | 43.13 | 38.97 |
| 2 | 49.06 | 41.12 | 45.79 |
| 3 | 40.11 | 42.37 | 41.86 |
| Delta | 11.61 | 2.01 | 6.82 |
| Rank | 1 | 3 | 2 |

Tabel 8. Respon SNR dimensi *width*

Metode SNR respon dimensi Lo dilakukan menggunakan metode SNR *small is better* (SIB) atau tertuju pada nilai terkecil berdasarkan desain panjang keseluruhan produk.

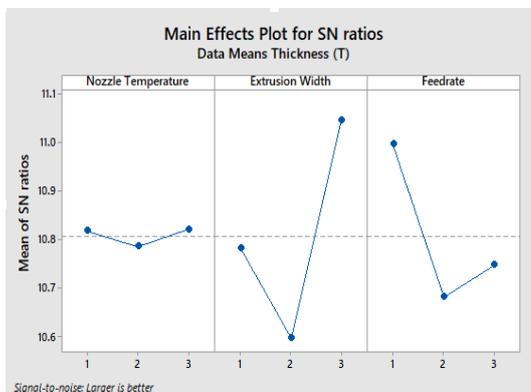


Gambar 11. Grafik SNR dimensi Lo

| Level | Nozzle Temperature | Extrusion Width | Feedrate |
|-------|--------------------|-----------------|----------|
| 1 | -38.09 | -38.08 | -38.08 |
| 2 | -38.07 | -38.08 | -38.08 |
| 3 | -38.07 | -38.07 | -38.08 |
| Delta | 0.01 | 0.01 | 0 |
| Rank | 1 | 2 | 3 |

Tabel 9. Respon SNR dimensi *Length*

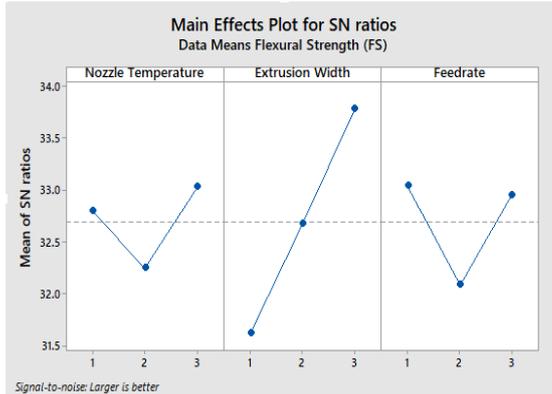
Metode SNR respon dimensi T dan *flexural strength* dilakukan menggunakan metode SNR *larger is better* (LIB) atau semakin baik karena pada tahap ini yang dituju adalah menentukan parameter yang menghasilkan nilai dimensi T dan Flexural Strength atau kekuatan lentur tertinggi dengan pemilihan level parameter dengan nilai SNR



Gambar 12. Grafik SNR dimensi T

| Level | Nozzle Temperature | Extrusion Width | Feedrate |
|-------|--------------------|-----------------|----------|
| 1 | 10.82 | 10.78 | 10.99 |
| 2 | 10.79 | 10.6 | 10.68 |
| 3 | 10.82 | 11.05 | 10.75 |
| Delta | 0.03 | 0.45 | 0.31 |
| Rank | 3 | 1 | 2 |

Tabel 10. Respon SNR dimensi *Thickness*



Gambar 13. Grafik SNR flexural strength

| Level | Nozzle Temperature | Extrusion Width | Feedrate |
|-------|--------------------|-----------------|----------|
| 1 | 32.8 | 31.62 | 33.03 |
| 2 | 32.25 | 32.68 | 32.08 |
| 3 | 33.02 | 33.77 | 32.95 |
| Delta | 0.78 | 2.15 | 0.95 |
| Rank | 3 | 1 | 2 |

Tabel 8. Respon SNR flexural strength

Berdasarkan analisis menggunakan nilai SNR dapat diketahui level yang optimal dan tingkat parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan lentur. Berikut ini tabel nilai level parameter proses optimal dan parameter proses yang optimal berdasarkan SNR ditunjukkan pada Tabel 12 dan 13.

Tabel 12. Level optimal berdasarkan hasil SNR

| Respon | Nozzle Temperature (°) | Extrusion Width (mm) | Feedrate (%) |
|-------------------|------------------------|----------------------|--------------|
| Dimensi Wo | 240 | 0,2 | 90 |
| Dimensi Lo | 240 | 0,4 | 100 |
| Dimensi T | 250 | 0,4 | 80 |
| Flexural Strength | 250 | 0,4 | 80 |

Tabel 13. Parameter optimal berdasarkan hasil SNR

| Rank | Dimensi Wo | Dimensi Lo | Dimensi T | Flexural Strength |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | Extrusion Width | Nozzle Temperature | Extrusion Width | Extrusion Width |
| 2 | Nozzle Temperature | Extrusion Width | Feedrate | Feedrate |
| 3 | Feedrate | Feedrate | Nozzle Temperature | Nozzle Temperature |

3.3 Analisis ANOVA

Analisis varians atau ANOVA digunakan untuk mengetahui peranan setiap parameter proses terhadap spesimen dengan melakukan pengelompokkan hasil percobaan secara statistik sesuai sumber variasi. Faktor-faktor yang termasuk dalam pengelompokkan analisis ANOVA adalah ST, Sm, Mq, Sq_A (setiap faktor), St, F-ratio, Df, Sq', P-value, dan ρ%. Pada penelitian ini akan menentukan nilai critical significant atau alpha-error α: 0.05 (5%). Nilai α: 0.05 menunjukkan penelitian ini menerima 5% kemungkinan kesalahan dalam mengklarifikasi sebagian faktor-faktor penting seperti (F-ratio) dan (P-value).

Tabel 14. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *width*

| Source | Sq | Df | Mq | F-ratio | Sq' | P | ρ% |
|--------------------|-------------|----|---------|---------|--------|-------|----------|
| Nozzle Temperature | 0.012 | 2 | 0.006 | 0.7652 | -0.003 | 0.622 | -7.1074 |
| Extrusion Width | 0.0223 | 2 | 0.0111 | 1.4124 | 0.0065 | 0.45 | 12.4873 |
| FeedRate | 0.0019 | 2 | 0.0009 | 0.1248 | -0.013 | 0.933 | -26.4988 |
| e | 0.0157 | 2 | 0.0078 | | 0.0631 | | 121.1189 |
| St | 0.0521 | 8 | 0.00652 | | | | 100 |
| Mean | 939.2815153 | 2 | | | | | |
| ST | 939.333 | 9 | | | | | |

Tabel 15. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *length*

| Source | Sq | Df | Mq | F-ratio | Sq' | P | ρ% |
|--------------------|------------|----|---------|---------|--------|-------|---------|
| Nozzle Temperature | 0.0291 | 2 | 0.0145 | 7.7691 | 0.0254 | 0.114 | 53.4841 |
| Extrusion Width | 0.0122 | 2 | 0.0061 | 3.2552 | 0.0084 | 0.235 | 17.8194 |
| FeedRate | 0.0023 | 2 | 0.0011 | 0.6319 | -0.001 | 0.611 | -2.9082 |
| e | 0.0037 | 2 | 0.0018 | | 0.015 | | 31.6047 |
| St | 0.0475 | 8 | 0.00593 | | | | 100 |
| Mean | 57823.6834 | 2 | | | | | |
| ST | 57823.73 | 9 | | | | | |

Tabel 16. Persen kontribusi parameter terhadap dimensi *thickness*

| Source | Sq | Df | Mq | F-ratio | Sq' | P | ρ% |
|--------------------|----------|----|--------|---------|---------|-------|---------|
| Nozzle Temperature | 0.0012 | 2 | 0.0006 | 0.0996 | -0.0113 | 0.903 | -12.169 |
| Extrusion Width | 0.0517 | 2 | 0.0258 | 4.0916 | 0.039 | 0.186 | 41.7868 |
| FeedRate | 0.0279 | 2 | 0.0139 | 2.2072 | 0.0152 | 0.292 | 16.3177 |
| e | 0.0126 | 2 | 0.0063 | | 0.0505 | | 54.0646 |
| St | 0.0935 | 8 | 0.0116 | | | | 100 |
| Mean | 109.0399 | 2 | | | | | |
| ST | 109.1334 | 9 | | | | | |

Tabel 17. Persen kontribusi parameter terhadap *flexural strength*

| Source | Sq | Df | Mq | F-ratio | Sq' | P | ρ% |
|--------------------|------------|----|---------|---------|----------|-------|---------|
| Nozzle Temperature | 23.8157 | 2 | 11.9078 | 0.054 | -20.2199 | 0.649 | -7.4674 |
| Extrusion Width | 162.3126 | 2 | 81.1563 | 3.6859 | 118.277 | 0.213 | 43.681 |
| FeedRate | 40.6102 | 2 | 20.3051 | 0.9222 | -3.4254 | 0.52 | -1.265 |
| e | 44.0356 | 2 | 22.0178 | | 176.1427 | | 65.0514 |
| St | 270.7743 | 8 | 33.8467 | | | | 100 |
| Mean | 17364.7970 | 2 | | | | | |
| ST | 17635.5714 | 9 | | | | | |

Tabel 18. Parameter proses optimal berdasarkan hasil ANOVA

| Rank | Dimensi Wo | Dimensi Lo | Dimensi T | Flexural Strength |
|------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | <i>Extrusion Width</i> | <i>Nozzle Temperature</i> | <i>Extrusion Width</i> | <i>Extrusion Width</i> |
| 2 | <i>Nozzle Temperature</i> | <i>Extrusion Width</i> | <i>Feedrate</i> | <i>Feedrate</i> |
| 3 | <i>Feedrate</i> | <i>Feedrate</i> | <i>Nozzle Temperature</i> | <i>Nozzle Temperature</i> |

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada tabel analisis SNR dan ANOVA dapat diambil kesimpulan bahwa tingkatan urutan parameter proses yang berpengaruh menunjukkan hasil yang sama terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan lentur. Pramaeter proses yang paling berpengaruh terhadap keduanya didominasi pada parameter *extrusion width* yang menduduki *rank* pertama dan diikuti dengan *nozzle temperature* pada urutan kedua. Hal tersebut ditunjukkan pada respon utama yaitu kekuatan lentur (ρ : 43,6810%), dimensi T (ρ : 41,7868%), dan pada peringkat ketiga dimensi Wo (ρ : 12,4873%). Dari uraian nilai diatas *extrusion width* menjadi parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon pada penelitian Berdasarkan data diatas dapat diketahui bahwa, *layer heigh* pada proses 3D printing merupakan salah satu parameter proses yang penting karena parameter ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekuatan tarik dan akurasi dimensi produk.

Eksperimen Konfirmasi

Hasil kekuatan lentur yang telah didapatkan dari analisis SNR dan ANOVA akan digunakan untuk proses selanjutnya yakni pemilihan parameter proses, level dan untuk menentukan kesimpulan dari hasil kombinasi level paling optimal terhadap respon yang diakibatkan adanya pengacakan kombinasi level pada setiap percobaan yang dihasilkan oleh desain faktorial metode taguchi. Desain eksperimen berbentuk suatu fraksional atau pemisahan beberapa bagian yang membuat kemungkinan kombinasi level dan parameter proses yang paling optimal tidak ada pada kombinasi level percobaan *orthogonal array*. Oleh karena itu eksperimen konfirmasi pada percobaan ini harus dilakukan sebagai pembuktian kombinasi level parameter proses optimal yang telah dihasilkan dari analisis SNR dan ANOVA.

Tabel 19. Level parameter proses optimal kekuatan lentur

| Parameter Proses | Level Optimal |
|---------------------------|---------------|
| <i>Nozzle Temperature</i> | 250 °C |
| <i>Extrusion Width</i> | 0.4 mm |
| <i>Feed Rate</i> | 80 % |

Tabel 20. Hasil analisis ANOVA akhir

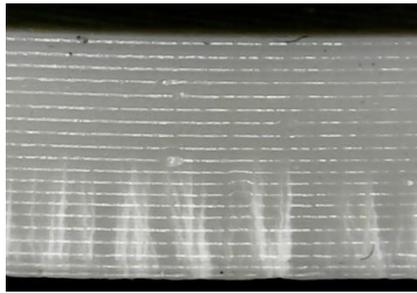
| Source | Sq | Df | Mq | F-ratio | Sq' | P | ρ% |
|------------------------|------------|----|--------|---------|---------|-------|--------|
| <i>Extrusion Width</i> | 162.3126 | 2 | 81.156 | 4.784 | 128.388 | 0.294 | 47.415 |
| <i>FeedRate</i> | 40.6102 | 2 | 20.305 | 1.197 | 6.686 | - | 2.469 |
| <i>e</i> | 67.8513 | 4 | 16.962 | | 135.700 | | 50.116 |
| <i>St</i> | 270.7741 | 8 | 33.846 | | | | 100 |
| Mean | 17364.7970 | 2 | | | | | |
| ST | 17635.5714 | 9 | | | | | |

Hasil dan Analisis Eksperimen Konfirmasi

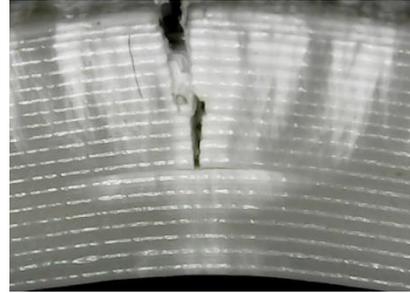
Tahap penelitian tentang eksperimen konfirmasi dilakukan dengan cara membuat produk spesimen yang proses pembuatannya menggunakan hasil kombinasi level optimal berdasarkan hasil analisis SNR. Pada tahap eksperimen konfirmasi juga diperlukan hasil perhitungan prediksi untuk memperkirakan nilai dari kekuatan lentur yang akan diperoleh dalam penelitian. Pembuatan spesimen eksperimen konfirmasi berjumlah satu percobaan dengan tiga kali replikasi. Tahap selanjutnya dilakukan pengujian kekuatan lentur dengan uji bending menggunakan standar pengujian ISO 178:2010 dengan menggunakan kecepatan pembebanan sebesar 10 mm/menit. Hasil pengujian bending untuk kekuatan lentur spesimen eksperimen konfirmasi ditunjukkan pada gambar 4.14.



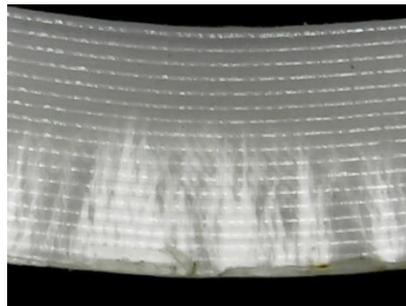
Gambar 14. Spesimen hasil pengujian eksperimen konfirmasi



(a)



(b)

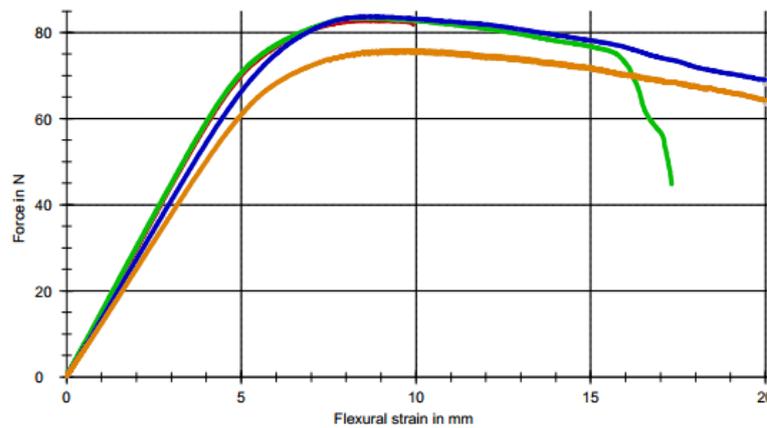


(c)

Tabel 21. Hasil pengujian bending eksperimen konfirmasi

| Replikasi | Wo (mm) | Lo (mm) | T (mm) | Flexural Strength (Mpa) | Rata-Rata (Mpa) | Standar Deviasi |
|-----------|---------|---------|--------|-------------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 9.89 | 80.11 | 3.87 | 58.7 | 60.8 | 3.35 |
| 2 | 9.89 | 80.03 | 3.87 | 59.1 | | |
| 3 | 9.77 | 80.09 | 3.55 | 64.7 | | |

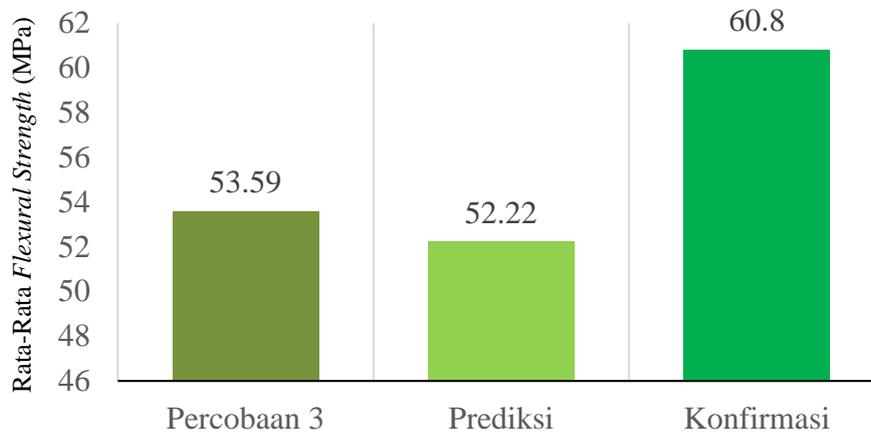
Series graph:



Gambar 15. Kurva F_{max} spesimen eksperimen konfirmasi

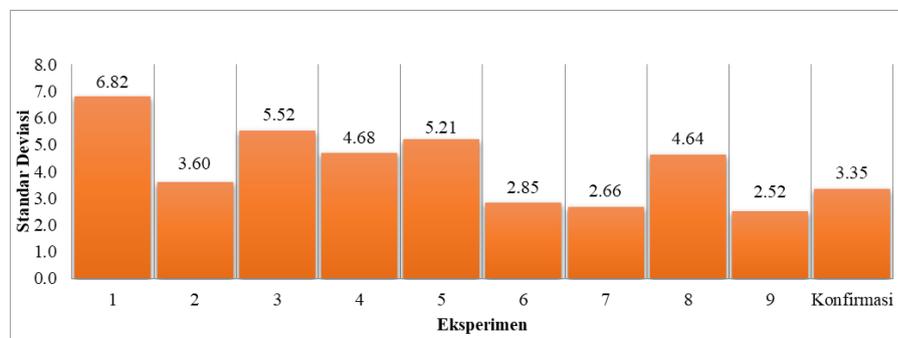
Hasil eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai kekuatan lentur terkecil terdapat pada replikasi 1 yaitu 58.7 MPa dengan rata-rata keseluruhan 60.8 MPa. Hasil tersebut menunjukkan nilai kekuatan lentur eksperimen konfirmasi memenuhi syarat tingkat

kepercayaan 95% dimana hasil berada didalam interval kepercayaan ($42,13 \text{ MPa} \leq 52,215 \text{ MPa} \leq 62,3 \text{ MPa}$). Perbandingan nilai rata-rata respon kekuatan lentur pada percobaan tertinggi yaitu percobaan 3, prediksi rata-rata kekuatan lentur dan kekuatan lentur eksperimen konfirmasi disajikan dalam diagram batang pada gambar 4.16.



Gambar 4.16. Diagram batang perbandingan nilai kekuatan lentur

Berdasarkan diagram batang diatas menunjukkan nilai kekuatan lentur pada percobaan eksperimen konfirmasi mempunyai nilai yang maksimal dibandingkan dengan hasil percobaan sebelumnya yaitu percobaan 3 dan prediksi interval kepercayaan. Sementara itu nilai standar deviasi akan di tunjukkan diagram batang pada gambar 4.17.



Gambar 4.17. Diagram batang perbandingan standar deviasi

Berdasarkan diagram batang diatas menunjukkan nilai standar deviasi pada masing- masing percobaan bahwa pada eksperimen konfirmasi berada pada nilai 4.33 dibawah 4 percobaan sebelumnya yakni percobaan 1,3,5,dan 8. Secara keseluruhan dapat ditarik kesimpulan bahwa pada percobaan eksperimen konfirmasi dapat dipertanggung jawabkan dengan ditunjukkannya hasil yang maksimal pada kekuatan lentur atau *flexural strength* pada material ABS tersebut.

Pada perhitungan regangan dan modulus elastisitas untuk 27 spesimen awal ditunjukkan pada tabel 4.22. sedangkan untuk flexural modulus pada spesimen eksperimen konfirmasi telah dijelaskan dalam lampiran yang tersedia.

Tabel 4.22 Flexural modulus

| Flexural Modulus (MPa) | | | |
|------------------------|---------|---------|----------|
| R1 | R2 | R3 | Spesimen |
| 2442.98 | 2428.13 | 2193.11 | A |
| 2242.74 | 2867.30 | 1994.71 | B |
| 2690.26 | 2678.06 | 2458.03 | C |
| 2140.75 | 2296.26 | 2259.34 | D |
| 2767.07 | 2732.31 | 2686.48 | E |
| 2304.89 | 2668.81 | 2525.16 | F |
| 2108.89 | 2272.80 | 2739.88 | G |
| 2740.32 | 2845.79 | 2732.01 | H |
| 2647.90 | 2905.96 | 3168.32 | I |

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Parameter proses yang paling berpengaruh secara signifikan terhadap respon akurasi dimensi produk 3D *printing* material ABS menunjukkan hasil pada ke tiga dimensi yang digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan hasil analisis ANOVA parameter *extrusion width* merupakan faktor yang paling berpengaruh pada respon dimensi Wo dengan nilai persen kontribusi sebesar 12.4873%, pada respon dimensi Lo parameter paling berpengaruh yaitu *nozzle temperature* dengan nilai persen kontribusi sebesar 53.4841% dan untuk dimensi T parameter yang paling berpengaruh dihasilkan oleh parameter yang sama dengan dimensi Wo yaitu *extrusion width* dengan nilai persen kontribusi sebesar 41.7868%.
2. Parameter proses yang paling berpengaruh signifikan terhadap hasil respon kekuatan lentur pada produk 3D *printing* material ABS berdasarkan analisis ANOVA yaitu pada parameter proses *extrusion width* dengan nilai persen kontribusi sebesar 43.681%.
3. Kombinasi level pada parameter proses optimal untuk respon akurasi dimensi secara berurutan yaitu *nozzle temperature* level 2 (240°), *extrusion width* level 3 (0.4mm), dan *feed rate* level 1 (80%).
4. Kombinasi level pada parameter proses optimal untuk respon kekuatan lentur secara berurutan yaitu *nozzle temperature* level 3 (250°), *extrusion width* level 3 (0,4mm), dan *feed rate* level 1 (80%).
5. Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan akan digunakan sebuah eksperimen konfirmasi produk terhadap respon kekuatan lentur dengan menggunakan kombinasi level parameter proses optimal yang dihasilkan dari Metode Taguchi yaitu *nozzle temperature* level 3 (250°), *extrusion width* level 3 (0,4mm), dan *feed rate* level 1 (80%).
6. Kombinasi parameter proses yang digunakan dalam pengujian eksperimen konfirmasi menunjukkan hasil yang baik dan maksimal atau menunjukkan peningkatan kualitas produk 3D *printing* dengan memperbaiki nilai kekuatan lentur atau *flexural strength* dengan rata-rata sebesar 60.8 MPa yang membuktikan bahwa nilai tersebut berada pada interval kepercayaan dengan memenuhi 95% tingkat kepercayaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Christiyan, K. G. J., Chandrasekhar, U., & Venkateswarlu, K. (2016). A study on the influence of process parameters on the Mechanical Properties of 3D printed ABS composite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 114, 012109.
- Dawoud, M., Taha, I., & Ebeid, S. J. (2016). Mechanical behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques. *Journal of Manufacturing Processes*, 21, 39–45.
- Dizon, J. R. C., Espera, A. H., Chen, Q., & Advincola, R. C. (2018). Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive Manufacturing*, 20, 44–67.
- Liu Y (2008). A preliminary research on development of a fiber-composite, curved FDM system.
- Sukindar, N. A. B., Bin, M. K. A., Hang Tuah Bin, B. T. B., Binti, C. N. A., & Bin, M. I. S. (2017). Analysis on the impact process parameters on tensile strength using 3d printer repetier-host software. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(10), 3341–3346.
- Weng, Z., Wang, J., Senthil, T., & Wu, L. (2016). Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing. *Materials and Design*, 102, 276–283.