

# OPTIMASI PARAMETER MESIN 3D-PRINTER MARKFORGED MARK TWO MATERIAL ONYX-CARBON FIBER REINFORCED DI PT. MATAHARI MEGAH

Mikael Sean Hendito<sup>1\*</sup>, Agus Halim<sup>2</sup>, Kevin Raynaldo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara Jakarta  
Email: mikael.515190010@stu.untar.ac.id

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara Jakarta  
Email: agush@ft.untar.ac.id

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara Jakarta  
Email: kevin@mm.co.id

Masuk : 23-11-2022, revisi: 09-12-2022, diterima untuk diterbitkan : 20-12-2022

## ABSTRAK

Revolusi industri 4.0 memiliki konsep yang berpusat pada otomatisasi, yang dibantu oleh teknologi informasi dalam penerapannya. *Additive manufacturing* merupakan salah satu pilar dalam mengembangkan suatu industri, *additive manufacturing* terdiri dari *rapid prototyping*, *direct digital manufacturing*, dan *3D-printing*. Salah satu filamen *3D-printing* yang menjadi standar industri adalah Onyx karena kekuatannya yang melebihi filamen lainnya. Pengaplikasian filamen Onyx pada industri dibuat untuk *jaw gripper*, *bracket*, *soft jaw*, ulir, dan *jigs*. Salah satu produk dari PT. Matahari Megah menggunakan filamen ini untuk *jaw gripper*, namun penggunaan material ini masih belum optimal, karena masih belum ada karakterisasi dari material Onyx yang diperkuat serat karbon. Metode penelitian ini menggunakan studi kasus sebagai studi awal penelitian lanjutan, studi ini difokuskan untuk mengevaluasi pengaruh variabel bebas ke variabel terikat yang akan diterapkan oleh PT. Matahari Megah. Studi ini mempertimbangkan parameter *infill pattern* dan *infill density*. Dari penelusuran studi pendahuluan didapatkan konfigurasi parameter untuk mendapatkan kuat tarik yang optimal yaitu pada data I dengan parameter 2 *infill pattern* memiliki 2 level dan *infill density* memiliki 3 level menggunakan *infill pattern Triangular* dengan kerapatan 49%, data II dengan parameter 2 faktor dan 2 level menggunakan *infill pattern Rectangular* dengan kerapatan 70%, dan data III dengan parameter 3 faktor dan 3 level menggunakan *infill pattern Rectangular* dengan kerapatan 80%.

**Kata Kunci:** *Additive manufacturing*, *3D-printing*, optimasi; *infill pattern*, kerapatan *Infill*

## ABSTRACT

The industrial revolution 4.0 has a concept centered on automation, which is assisted by information technology in its application. *Additive manufacturing* is one of the pillars in developing an industry, *additive manufacturing* consists of *rapid prototyping*, *direct digital manufacturing*, and *3D-printing*. One of the *3D-printing* filaments that has become an industry standard is Onyx because of its strength that exceeds other filaments. Industrial applications of Onyx filaments are made for *jaw grippers*, *brackets*, *soft jaws*, *threads* and *jigs*. One of the products from PT. Matahari Megah uses this filament for the *jaw gripper*, but the use of this material is still not optimal, because there is still no characterization of the carbon fiber reinforced Onyx material. This research method uses a case study as a preliminary study for further research, this study is focused on evaluating the effect of the independent variable on the dependent variable which will be applied by PT. Matahari Megah. This study considers the *infill pattern* and *infill density* parameters. From the preliminary study search, it was found that the parameter configuration to obtain optimal tensile strength, namely in data I with parameter 2 the *infill pattern* has 2 levels and the *infill density* has 3 levels using the *Triangular pattern* with a density of 49%, data II with parameters 2 factors and 2 levels using *Rectangular pattern* with a density of 70%, and data III with parameters of 3 factors and 3 levels using *Rectangular pattern* with a density of 80%.

**Keywords:** *Additive Manufacturing*, *3D-printing*, optimization, *infill pattern*, *infill density*

## 1. PENDAHULUAN

Revolusi Industri 4.0 adalah fenomena menggabungkan antara teknologi siber dan otomatisasi. Revolusi Industri 4.0 memiliki konsep otomatisasi yang didukung oleh teknologi informasi proses aplikasi. Dalam industri, hal ini memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas kerja dan biaya produksi. Revolusi Industri 4.0 setidaknya memiliki lima pilar utama pembangunan industri. *Internet of Things, Big Data, Artificial Intelligence, Cloud Computing, and Additive Manufacturing* (Rizkinaswara, 2020).

Manufaktur aditif adalah terobosan lain dalam industri manufaktur. Manufaktur aditif mencakup pembuatan *rapid prototyping, direct digital manufacturing (DDM)*, dan pencetakan 3D. Pencetakan 3D adalah proses pencetakan objek menggunakan bahan/filamen dengan desain yang dibuat secara digital. Teknologi pencetakan objek dengan menggunakan *3D-printing* ini perlahan-lahan memasuki zaman modern karena diyakini membawa kemajuan dan kemakmuran bagi masyarakat (Techno Inc, 2022).

Teknologi pencetakan 3D juga dapat digunakan dalam proses pembuatan *rapid prototyping*. Proses *rapid prototyping* dengan *printer* 3D biasanya menggunakan bahan termoplastik seperti *acrylonitrile butadiene styrene (ABS), polylactic acid (PLA), polyethylene terephthalate glycol modified (PETG)*, dan bahan Onyx yang relatif baru (Smithers, 2022). Keunggulan teknologi 3D printing adalah efisiensi waktu, detail, dapat digunakan mencetak sebuah produk perusahaan dengan pola yang sama persis berulang kali (Maulanakrysa, 2022).

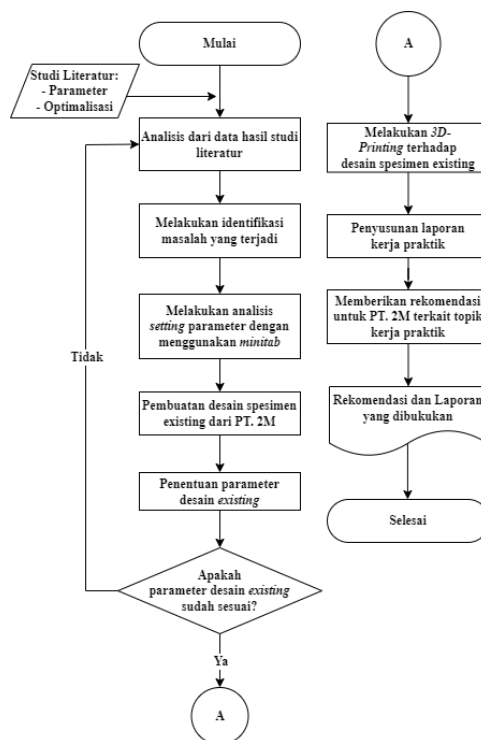
Teknologi *3D-Print* ini sudah mulai banyak digunakan dalam industri secara luas, dalam arsitektur, otomotif, militer, dunia medis, sistem informasi geografis sampai dengan *biotech* (penggantian organ/jaringan tubuh pada manusia) (Nita, 2018). PT. Matahari Megah merupakan sebuah perusahaan berbasis *engineering* yang berdiri sejak tahun 1987, berlokasi di Jalan Raya Serang KM 8,5, Kadu Jaya, Tangerang, Banten yang didirikan oleh Bapak Willy Halim. PT. Matahari Megah bergerak di bidang *automation, customized machine, jigs and fixture*. Konsep yang dikedepankan oleh PT. Matahari Megah adalah ICE (*Innovative, Creative, Effective*). PT. Matahari Megah merupakan salah satu perusahaan yang memanfaatkan teknologi *3D-Printing* untuk menghasilkan sebuah produk. Salah satu produk yang sedang dikembangkan adalah *jaw gripper* sebagai bagian dari robot C8 yang berfungsi untuk mengambil dan memindahkan *sleeve* atau *bearing* (Raynaldo, 2020).

Masalah yang timbul dalam proses teknologi *3D-Printing* di perusahaan PT. Matahari Megah adalah banyaknya material filamen Onyx yang diperkuat serat karbon yang kurang efisien dalam proses pembuatan produk menggunakan teknologi *3D-Printing*, seharusnya untuk material yang lebih sedikit akan masih mampu menahan beban tersebut atau yang sering disebut dengan *overkill*, karena itu dibutuhkan data karakteristik filamen Onyx yang diperkuat serat karbon agar dapat diperhitungkan lebih matang dan dibutuhkan optimasi agar tetap pada kualitas yang baik dengan menekan biaya seekonomis mungkin.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tarik yang signifikan dari penggunaan *infill pattern* dan *infill density* sebagai parameter penelitian sehingga diperoleh konfigurasi yang memiliki kekuatan tarik yang paling optimum. Lebih lanjut, penelitian ini diarahkan untuk mendapatkan konfigurasi kekuatan tarik melalui studi kasus sebagai *preliminary study* yang dianalisa menggunakan *software minitab*. Dengan demikian, *output* dari penelitian ini adalah penyajian konfigurasi kekuatan tarik yang optimum dari studi kasus sebagai referensi bagi

PT. Matahari Megah khususnya dalam karakterisasi material filamen *Onyx-Carbon Fiber Reinforced*.

## 2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan untuk melakukan penelitian guna mencari parameter yang optimal ini dimulai dari menentukan parameter independen misalnya spesimen yang digunakan adalah ASTM D3039, menggunakan material Onyx diperkuat dengan serat karbon, temperatur nosel harus sesuai dan sebelum dilakukan proses *3D-Printing*, bed sudah diberikan *adhesive* terlebih dahulu. Kemudian menentukan parameter terikat atau parameter dependen sebagai bahan penelitian untuk mendapatkan parameter yang optimal. Setelah itu, mencari studi literatur yang memiliki topik dan data yang berhubungan dengan topik penelitian.

Penelitian dimulai dari studi kasus yang dilakukan dari beberapa penelitian yang selanjutnya akan dijadikan *preliminary study* di penelitian yang akan datang. Dari data hasil studi kasus tersebut dianalisis terlebih dahulu untuk mendapatkan gambaran parameter apa yang berdampak paling signifikan dan yang tidak terlalu signifikan menggunakan *software minitab*. Kemudian dilakukan pembuatan desain spesimen untuk pengujian tarik menggunakan *software Autodesk Inventor 2016 Student Version*, mengacu pada model *handbook* ASTM D3039 (Nemeth, 1995), menggunakan *setting* yang berasal dari PT. Matahari Megah. Rekomendasi geometri spesimen uji tarik yang sesuai dengan *handbook* ASTM D3039 dapat dilihat tabel 1 (Nemeth, 1995).

Tabel 1. Rekomendasi geometri spesimen ASTM D3039

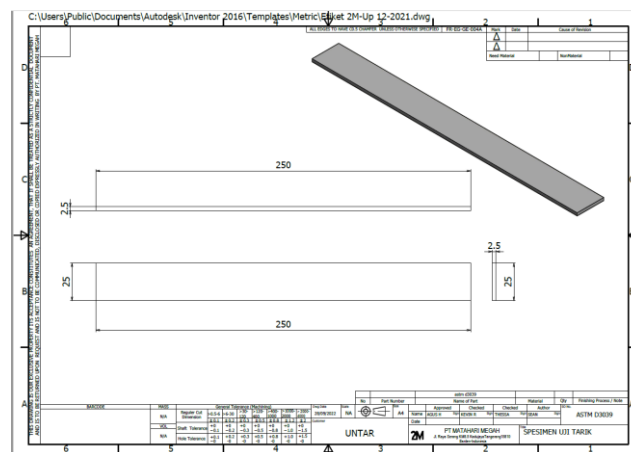
| Fiber Orientation  | Width, mm [in.] | Overall Length, mm [in.] | Thickness, mm [in.] |
|--------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| 0° unidirectional  | 15 [0.5]        | 250 [10.0]               | 1.0 [0.040]         |
| 90° unidirectional | 25 [1.0]        | 175 [7.0]                | 2.0 [0.080]         |

| Fiber Orientation      | Width, mm [in.] | Overall Length, mm [in.] | Thickness, mm [in.] |
|------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| balanced and symmetric | 25 [1.0]        | 250 [10.0]               | 2.5 [0.100]         |
| random-discontinuous   | 25 [1.0]        | 250 [10.0]               | 2.5 [0.100]         |

| Fiber Orientation      | Tab Length, mm [in.] | Tab Thickness, mm [in.] | Tab Bevel Angle, ° |
|------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| 0° unidirectional      | 56 [2.25]            | 1.5 [0.062]             | 7 or 90            |
| 90° unidirectional     | 25 [1.0]             | 1.5 [0.062]             | 90                 |
| balanced and symmetric | emery cloth          | -                       | -                  |
| random-discontinuous   | emery cloth          | -                       | -                  |

Kemudian setelah melakukan desain dan *setting* parameter yang sesuai dengan parameter dari *software minitab*, dilanjutkan dengan proses percetakan 3D dengan menggunakan material Onyx yang diperkuat serat karbon dengan mesin *3D-Print Markforged Mark Two*. Dimensi spesimen dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Dimensi ASTM D3039

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

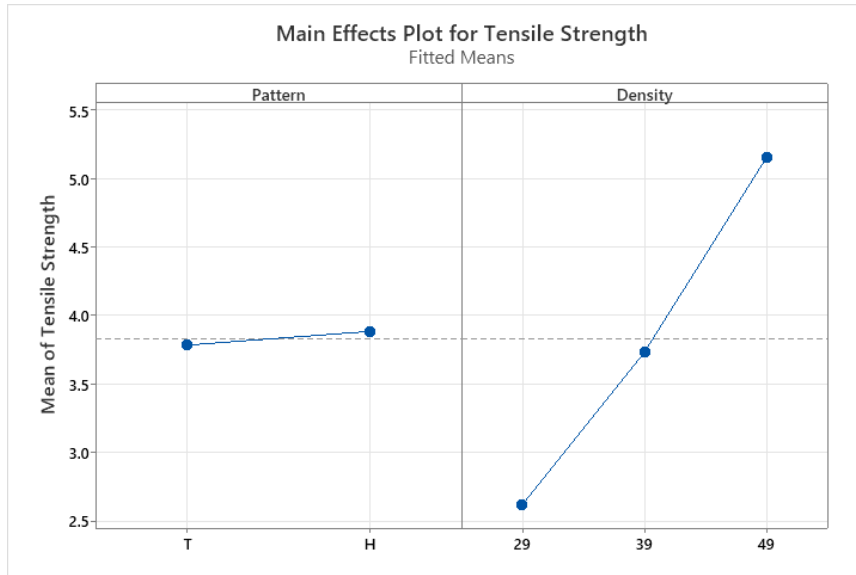
*Refinement* Penentuan Parameter dalam Penelitian Data I. Penelitian ini diambil dari jurnal “*Effects of infill characteristics and strain rate on the deformation and failure properties of additively manufactured polyamide-based composite structures*” yang membahas mengenai pengaruh *infill pattern Triangular* dan *Hexagonal* dengan *infill density* masing-masing 29%, 39%, dan 49% terhadap kekuatan tarik spesimen (Wang et al., 2020). Berikut ini adalah faktor dan level penelitian yang digunakan untuk percobaan ini, faktor dan levelnya ditentukan sebagai berikut (Software, 2012).

Tabel 2. Faktor dan level penelitian

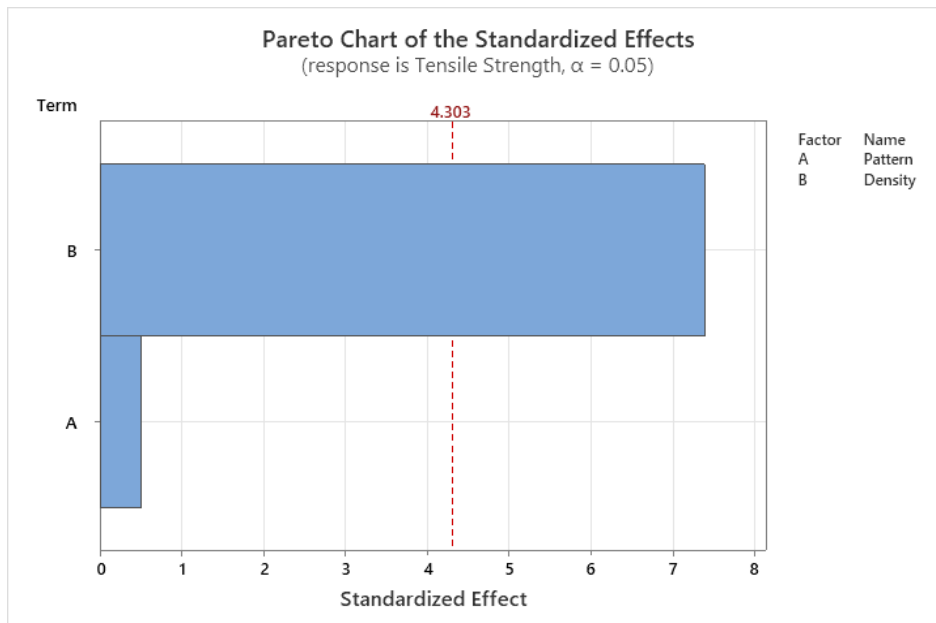
| Faktor/Parameter      | Units | Level      |           |    |
|-----------------------|-------|------------|-----------|----|
|                       |       | 1          | 2         | 3  |
| <i>Infill Pattern</i> | -     | Triangular | Hexagonal | -  |
| <i>Infill Density</i> | %     | 29         | 39        | 49 |

Tabel 3. Desain matriks orthogonal data 1

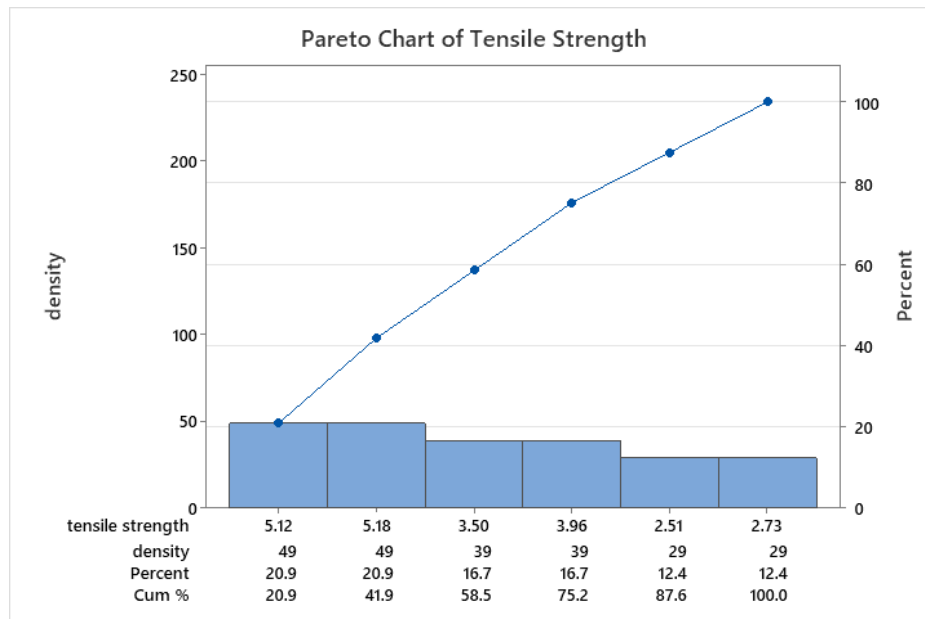
| Percobaan | Faktor  |             | Tensile Strength (MPa) |
|-----------|---------|-------------|------------------------|
|           | Pattern | Density (%) |                        |
| 1         | 1       | 1           | 2.73                   |
| 2         | 1       | 2           | 3.50                   |
| 3         | 1       | 3           | 5.12                   |
| 4         | 2       | 1           | 2.51                   |
| 5         | 2       | 2           | 3.96                   |
| 6         | 2       | 3           | 5.18                   |



Gambar 3. Main plot for tensile strength



Gambar 4. Diagram pareto terhadap standardized effect



Gambar 5. Diagram pareto terhadap tensile strength

Gambar 4 menunjukkan diagram pareto untuk menentukan parameter apa yang paling berpengaruh secara signifikan, garis merah putus-putus merupakan *critical factor*, apabila parameter tersebut melewati *critical factor*, artinya parameter tersebut berpengaruh secara signifikan dibandingkan dengan parameter yang tidak melewati garis *critical factor*. Gambar 5 merupakan diagram pareto terhadap kekuatan tarik, faktor yang terdapat di sumbu X dan yang terdekat dengan titik 0 adalah faktor yang paling optimal (BYJU’S, 2022).

*Refinement* Penentuan Parameter dalam Penelitian Data II. Penelitian ini diambil dari jurnal yang berjudul “*Evaluation of carbon fiber reinforced polymer composites produced by Additive Manufacturing for design guidelines*” yang membahas mengenai pengaruh *infill pattern Rectangular* dan *Hexagonal* dengan *infill density* masing-masing 10% dan 70% terhadap kekuatan tarik (Monterrey, 2018). Berikut ini adalah faktor dan level penelitian yang digunakan untuk percobaan ini, faktor dan levelnya ditentukan sebagai berikut:

Tabel 4. Faktor dan level penelitian

| Faktor/Parameter      | Units | Level       |           |
|-----------------------|-------|-------------|-----------|
|                       |       | 1           | 2         |
| <i>Infill Pattern</i> | -     | Rectangular | Hexagonal |
| <i>Infill Density</i> | %     | 10          | 70        |

Matriks ortogonal adalah matriks persegi yang inversnya sama dengan transpose, baris dalam matriks ortogonal adalah vektor satuan, di mana hasil kali titik antara dua baris berbeda adalah nol (Izzulhaq, 2020). Faktor yang dipilih ada 2 yaitu *infill pattern* dan *infill density*, sedangkan level penelitian ada 3. Perhitungan matriks ortogonal pada penelitian ini sebagai berikut (Software, 2012):

Matriks Orthogonal = (Banyaknya Faktor) x (Banyaknya Level -1)

$$(1) \text{ Matriks Orthogonal} = 2 \times (2 - 1) = 2$$

Sehingga bentuk matriks ortogonalnya adalah  $L_2(3^2)$ , kemudian dengan meninjau matriks ortogonal yang sesuai dengan standar penelitian dan *software minitab 21*, maka dipilih matriks

orthogonal  $L_4(3^2)$ . Pada proses percobaan tarik didapatkan data berupa *tensile strength*. Kemudian dari *tensile strength* tersebut dihitung rasio S/N menggunakan *software minitab 21*. Desain matriks ortogonal dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Desain matriks ortogonal

| Percobaan | Faktor         |                | Tensile Strength (MPa) |
|-----------|----------------|----------------|------------------------|
|           | Infill Pattern | Infill Density |                        |
| 1         | 1              | 1              | 9.8                    |
| 2         | 1              | 2              | 11.98                  |
| 3         | 2              | 1              | 11.78                  |
| 4         | 2              | 2              | 15.22                  |

Perhitungan Rasio S/N untuk Percobaan Data II. Di bawah adalah contoh penghitungan Rasio S/N pada eksperimen ke-1.

$$S / NR = -10 \text{Log} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{y_i^2} \right) \right]$$

Keterangan:

S/NR : *Signal to Noise Ratio (Larger is Better)*

n : Jumlah pengulangan eksperimen

$y_i$  : data pengamatan ke-i ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )

Perhitungan S/NR untuk hasil eksperimen 1

$$S / NR = -10 \text{Log} \left[ \frac{1}{1} \left( \frac{1}{9.8^2} \right) \right]$$

$$S/NR = 19.82$$

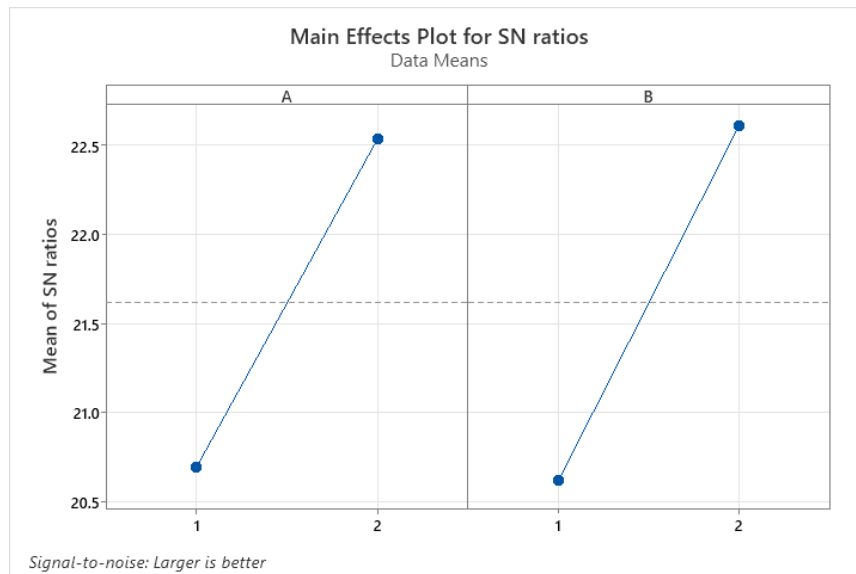
Kemudian hasil penghitungan di atas di rata-rata untuk mengetahui pengaruh level pada masing-masing faktor penelitian.

Perhitungan Pengaruh Level dan Faktor terhadap Kekuatan Tarik Data II. Penghitungan nilai rasio S/N kekuatan tarik melalui kombinasi level dari masing-masing faktor sebagai contoh dapat dilihat di bawah ini:

$$v_1 = \frac{19.82 + 21.57}{2} = 20.695$$

Tabel 6. Respon rasio S/N tensile strength

| Level | A (Infill Pattern) | B (Infill Density) |
|-------|--------------------|--------------------|
| 1     | 20.695             | 20.622             |
| 2     | 22.536             | 22.609             |
| Delta | 1.843              | 1.987              |
| Rank  | 2                  | 1                  |



Gambar 6. S/NR terhadap tensile strength

Dari tabel 6, terlihat bahwa nilai delta tertinggi adalah *Infill Density*. Sehingga nilai target *Larger is Better* adalah nilai rata-rata rasio S/N level tertinggi setiap faktor yaitu:

*Infill Pattern*, A2 = *Rectangular*

*Infill Density*, B2 = 70%

Penelitian ini diambil dari jurnal “*Comparing mechanical properties of composites structures on Onyx base with different density and shape of fill*” yang membahas mengenai pengaruh *infill pattern* *Triangular*, *Rectangular*, dan *Hexagonal* dengan *infill density* 40%, 60%, dan 80% terhadap kekuatan tarik (Bárnik et al., 2019). Berikut ini adalah faktor dan level penelitian yang digunakan untuk percobaan ini, faktor dan levelnya ditentukan sebagai berikut:

Tabel 7. Faktor dan level penelitian

| Faktor/Parameter      | Units | Level     |            |             |
|-----------------------|-------|-----------|------------|-------------|
|                       |       | 1         | 2          | 3           |
| <i>Infill Pattern</i> | -     | Hexagonal | Triangular | Rectangular |
| <i>Infill Density</i> | %     | 40        | 60         | 80          |

Faktor yang dipilih ada 2 yaitu *infill pattern* dan *infill density*, sedangkan level penelitian ada 3. Perhitungan matriks ortogonal pada penelitian ini sebagai berikut:

Matriks Orthogonal = (Banyaknya Faktor) x (Banyaknya Level - 1)

(3) Matriks Orthogonal = 2 x (3 - 1) = 4

Sehingga bentuk matriks ortogonalnya adalah  $L_4(3^2)$ , kemudian dengan meninjau matriks ortogonal yang sesuai dengan standar penelitian dan *software minitab 21*, maka dipilih matriks ortogonal  $L_9(3^2)$ . Bentuk dari variasi level dapat dilihat pada tabel 8.



Tabel 8. Desain matriks orthogonal

| Percobaan | Faktor                |                       | Tensile Strength<br>(MPa) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
|           | (A)<br>Infill Pattern | (B)<br>Infill Density |                           |
| 1         | 1                     | 1                     | 11.94                     |
| 2         | 1                     | 2                     | 11.72                     |
| 3         | 1                     | 3                     | 15.17                     |
| 4         | 2                     | 1                     | 11.00                     |
| 5         | 2                     | 2                     | 10.94                     |
| 6         | 2                     | 3                     | 12.00                     |
| 7         | 3                     | 1                     | 13.56                     |
| 8         | 3                     | 2                     | 15.56                     |
| 9         | 3                     | 3                     | 22.72                     |

Di bawah adalah contoh penghitungan Rasio S/N pada eksperimen ke-1.

$$S/NR = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{y_i^2} \right) \right] \quad S/NR = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{y_i^2} \right) \right]$$

Keterangan:

S/NR : *Signal to Noise Ratio (Larger is Better)*

n : Jumlah pengulangan eksperimen

$y_i$  : data pengamatan ke-i (i = 1,2,3,...,n)

Perhitungan S/NR untuk hasil eksperimen 1

$$S/NR = -10 \log \left[ \frac{1}{1} \left( \frac{1}{11.94^2} \right) \right]$$

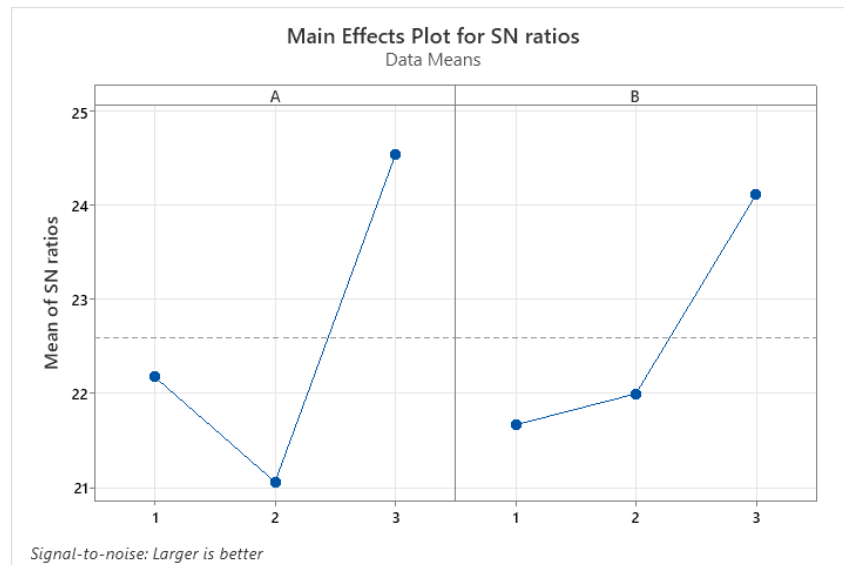
$$S/NR = 21.54$$

Perhitungan Pengaruh Level dan Faktor terhadap Kekuatan Tarik Data III. Penghitungan nilai rasio S/N kekuatan tarik melalui kombinasi level dari masing-masing faktor sebagai contoh dapat dilihat di bawah ini

$$v_1 = \frac{21.54 + 21.39 + 23.62}{3} = 22.18$$

Tabel 9. Respon rasio S/N tensile strength

| Level | A<br>(Infill Pattern) | B<br>( ) |
|-------|-----------------------|----------|
| 1     | 22.18                 | 21.67    |
| 2     | 21.06                 | 22.00    |
| 3     | 24.54                 | 24.11    |
| Delta | 2.36                  | 2.44     |
| Rank  | 2                     | 1        |



Gambar 7. S/NR terhadap tensile strength

Dari tabel 9, terlihat bahwa nilai delta tertinggi adalah *Infill Density*. Sehingga nilai target *Larger is Better* adalah nilai rata-rata rasio S/N level tertinggi setiap faktor yaitu:

*Infill Pattern*, A3 = *Rectangular*

*Infill Density*, B3 = 80%

#### 4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Parameter yang berpengaruh secara signifikan adalah parameter *infill density* karena berdasarkan *standardized effect* pada data I, parameter yang berpengaruh secara signifikan adalah *infill density*, karena diagram yang menunjukkan *infill density* melewati garis *critical factor* sedangkan diagram yang menunjukkan *infill pattern* tidak melewati garis *critical factor*, serta dapat dilihat pada perhitungan *Signal to Noise Ratio* data II dan III, bahwa hasil selisih/delta perhitungan antara *infill pattern* dan *infill density* yang memiliki nilai delta terbesar adalah parameter *infill density*, sementara itu untuk konfigurasi parameter agar mendapatkan kekuatan tarik yang paling optimum antara lain, pada data I adalah dengan menggunakan Pola *Triangular Fill* dengan *infill density* 49%, data II adalah dengan menggunakan Pola *Rectangular Fill* dengan *infill density* 70%, dan data III adalah dengan menggunakan Pola *Rectangular Fill* dengan *infill density* 80%. Penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan konfigurasi parameter agar mendapatkan kekuatan tarik paling optimal dapat dilakukan dengan variasi parameter yang lebih ekonomis.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Matahari Megah dan seluruh pihak yang membantu memfasilitasi penelitian dan membantu dalam penelitian sampai selesai.

#### REFERENSI

- Bárník, F., Vaško, M., Handrik, M., Dorčiak, F., & Majko, J. (2019). Comparing mechanical properties of composites structures on Onyx base with different density and shape of fill. *Transportation Research Procedia*, 40, 616–622.
- BYJU'S. (2022, November 22). *Pareto Chart - Meaning, Analysis, Applications and Example*. <https://byjus.com/maths/pareto-chart/>
- Izzulhaq, A. (2020, Mei 11). *Matriks Ortogonal - Definisi, Sifat, dan Contoh Soal*. *KimiaMath*. <https://www.kimiamath.com/post/matriks-ortogonal>

- Maulanakrysna. (2022, April 26). *Apa Saja Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan 3D Printing*. anakteknik.co.id.<https://www.anakteknik.co.id/maulanakrysna/articles/apa-saja-kelebihan-dan-kekurangan-penggunaan-3d-printing>
- Monterrey, C. (2018). *Evaluation of carbon fiber reinforced polymer composites produced by Additive Manufacturing for design guidelines*. School of Engineering and Sciences.
- Nemeth, I. (1995). Hotavvezetekek hoszigeteles alatti korrozioja elleni vedelem. *Korrozios Figyelo*, 35(2), 36–38.
- Nita. (2018, Oktober 4). *Mengenal Lebih Dekat Teknologi 3D Printing*. IDS, *International Design School*. <https://idseducation.com/mengenal-lebih-dekat-teknologi-3d-printing/>
- Raynaldo, K. (2020). *Analisis Sistem Otomasi Pada Automatic Assembling Gear Shaft Output Sebagai Part Gearbox Mobil Di Pt. Matahari Megah*. 67.
- Rizkinaswara, L. (2020, January 28). *Revolusi Industri 4.0*. Aptika Kominfo. <https://aptika.kominfo.go.id/2020/01/revolusi-industri-4-0/>
- Smithers. (2022, September 2). <https://www.smithers.com/resources/2017/jul/reasons-why-3d-printing-is-reaching-the-mainstream>
- Software, C. A. D. C. A. M. (2012). *Optimasi Parameter Permesinan terhadap Waktu pada Pemrograman CNC Milling dengan Software CAD/CAM Machining Parameter Optimization Time on CNC Milling Programming with*. 66-70.
- Techno Inc. (2022, September 2). <http://irenamusdalifah.it.student.pens.ac.id/3D-PRINTING.html>
- Wang, K., Xie, X., Wang, J., Zhao, A., Peng, Y., & Rao, Y. (2020). Effects of infill characteristics and strain rate on the deformation and failure properties of additively manufactured polyamide-based composite structures. *Results in Physics*, 18.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*