

**SKRIPSI**

**STUDI KUALITAS SKAFOLD BERBAHAN PLA  
HASIL PRODUKSI MESIN CETAK 3D TIPE FDM  
DENGAN METODE TAGUCHI**



**EDO SYAHRIZAL**

**03051381621092**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2020**

## **SKRIPSI**

# **STUDI KUALITAS SKAFOLD BERBAHAN PLA HASIL PRODUKSI MESIN CETAK 3D TIPE FDM DENGAN METODE TAGUCHI**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana  
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH:  
EDO SYAHRIZAL  
03051381621092**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2020**

## **HALAMAN PENGESAHAN**

# **STUDI KUALITAS SKAFOLD BERBAHAN PLA HASIL PRODUKSI MESIN CETAK 3D TIPE FDM DENGAN METODE TAGUCHI**

### **SKRIPSI**

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

**Oleh:**  
**EDO SYAHRIZAL**  
**03051381621092**

Palembang, Desember 2020

**Pembimbing I,**

**Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T**  
**NIP. 197002281994121001**

**Pembimbing II,**

**Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri**  
**NIP. 195802011984031002**



JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :  
Diterima Tanggal :  
Paraf :  
\_\_\_\_\_

## SKRIPSI

Nama : EDO SYAHRIZAL  
NIM : 03051381621092  
Jurusan : TEKNIK MESIN  
Judul Skripsi : STUDI KUALITAS SKAFOLD BERBAHAN PLA  
HASIL PRODUKSI MESIN CETAK 3D TIPE FDM  
DENGAN METODE TAGUCHI  
Dibuat Tanggal : JULI 2020  
Selesai Tanggal : DESEMBER 2020

Pembimbing,

Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T  
NIP. 197002281994121001

Palembang, Desember 2020

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing,

Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri  
NIP. 195802011984031002



Irsyadi Yani S.T, M.Eng, Ph.D  
NIP. 197112251997021001

## HALAMAN PERSETUJUAN

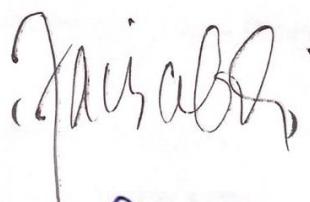
Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “**Studi Kualitas Skafold Berbaham PLA Hasil Produksi Mesin Cetak 3D Tipe FDM Dengan Metode Taguchi**” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 23 Desember 2020.

Palembang, 23 Desember 2020

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua

**1. Ir. Zainal Abidin, M.T.  
NIP. 195809101986021001**

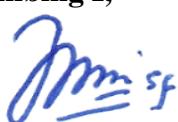


Anggota

**2. Dr. Dendy Adanta, S.Pd., M.T.  
NIP. 1993060520190310163**

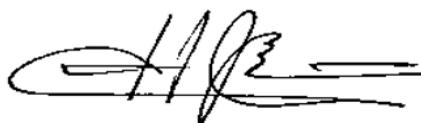


Pembimbing I,



**Dr. Muhammad Yanis, S.T., M.T  
NIP. 197002281994121001**

Palembang, Desember 2020  
Pembimbing II,



**Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri  
NIP. 195802011984031002**



**Irsyadi Yani S.T, M.Eng, Ph.D  
NIP. 197112251997021001**

## **HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Edo Syahrizal

NIM : 03051381621092

Judul : Studi Kualitas Skafold Berbahan Pla Hasil Produksi Mesin Cetak 3d Tipe Fdm Dengan Metode Taguchi.

Menyatakan bahwa Skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Desember 2020



Edo Syahrizal  
NIM. 03051381621092

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Edo Syahrizal

NIM : 03051381621092

Judul : Studi Kualitas Skafold Berbahan Pla Hasil Produksi Mesin Cetak 3d Tipe Fdm Dengan Metode Taguchi.

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (Corresponding author)

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Desember 2020



Edo Syahrizal  
NIM. 03051381621092

## **RINGKASAN**

**STUDI KUALITAS SKAFOLD BERBAHAN PLA HASIL PRODUKSI MESIN CETAK 3D TIPE FDM DENGAN METODE TAGUCHI**

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi, 22 Desember 2020

Edo Syahrizal; Dibimbing oleh Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T dan Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri

**STUDY OF QUALITY OF SKAFOLD MADE FROM PLA FROM FDM TYPE  
3D PRINTING MACHINE PRODUCTION WITH TAGUCHI METHOD**

xxvii + 52 Halaman, 11 tabel, 21 gambar, 3 lampiran

### **RINGKASAN**

Berkembangnya ilmu kedokteran dan ilmu mekanika yang dipadukan atau bisa disebut dengan biomekanika (biomechanics). Aplikasi dalam bidang ini misalnya pada tulang. Tulang mempunyai fitur unik kemampuannya dapat bergenerasi dengan sendirinya didalam lingkup kerusakan yang kecil. Namun, apabila terjadi Kerusakan yang lebih besar maka diperlukan tindakan pengobatan tambahan. Metode rekayasa jaringan sudah berhasil meningkatkan kemampuan regenerasi tulang melewati skafold yang telah didesain sebagai pemacu pertumbuhan jaringan baru pada tulang. Metode ini telah memberikan sistem pertumbuhan dan perbaikan tulang yang sangat terjaga dikarenakan skafold telah dirancang menggunakan material yang bersifat bebas racun (non-toxic) dan bisa mendukung aktifitas pertumbuhan jaringan tulang (biokompatibilitas), selain itu skafold juga dirancang menyamai sedemikian rupa dengan jaringan tulang asli yang memiliki struktur berpori, sehingga mempunyai kemampuan osteokonduktifitas yang dapat memungkinkan nutrisi dan sel pembentuk tulang (osteoblast) dapat berkembang dan menempel di dalam pori – pori. *Additive Manufacture* (AM) merupakan salah satu bidang yang paling menjanjikan dalam pembuatan komponen. Salah satunya adalah mesin cetak 3D *Fused Deposition Modeling* (FDM) yang memungkinkan produksi bagian padat dibuat dari polimer termoplastik, oleh karena itu kekakuan dan kekuatannya relatif kecil dibanding teknik lain. Pada saat ini skafold berbasis *PolyLatic Acid* (PLA) memiliki kompatibilitas yang sangat baik, bioabsorbabilitas, dan bisa terdegradasi didalam tubuh manusia sehingga sering digunakan dalam bidang medis. Tulang memiliki struktur berpori yang dapat memberikan

ruanguntuk perkembangan jaringan tulang baru dan sirkulasi jaringan. Ukuran pori dan porositas adalah faktor penting untuk menentukan kekuatan mekanik dan laju aliran dari skafold tersebut. Pada ukuran pori yang berbeda, porositas meningkat dan kuat tekan berkurang karena adanya peningkatan interkoneksi. Sedangkan porositas berkurang dan kuat tekan meningkat saat ukuran pori meningkat karena interkoneksi skafold yang sama. Metode taguchi digunakan untuk memperbaiki atau merakayasa produktivitas saat penelitian dan pengembangannya supaya produk-produk berkualitas tinggi dan dapat dihasilkan dengan cepat dan dengan biaya rendah. Metode Taguchi adalah metode perancangan yang memiliki prinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk mendapatkan nilai yang optimum. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui optimasi dari fabrikasi scaffold menggunakan 3D printing dengan material PLA. Metode Taguchi digunakan dalam penelitian ini utnuk mengetahui optimasi parameter proses pencetakan 3d fdm untuk meningkatkan akurasi porositas scaffold PLA, dipilihnya metode ini karena efisien dan mampu memperbaiki atau merakayasa produktivitas saat penelitian dan pengembangannya supaya produk-produk berkualitas tinggi dan dapat dihasilkan dengan cepat dan dengan biaya rendah. Untuk Analisa porositas dilakukan pengujian *density* dan untuk pengamatan menggunakan Optikal mikroskop. Parameter yang digunakan dalam proses pengujian ini melalui setting printer yaitu *Temperature* ( $200^{\circ}\text{C}$ ,  $210^{\circ}\text{C}$ ,  $215^{\circ}\text{C}$ ), *Printing Speed* (20 mm/s, 25 mm/s, 30mm/s), *Layer Thickness* (0.0825 mm, 0.1 mm, 0.112 mm). Karakteristik yang digunakan ialah *Nominal the Better* yang mana Nilai yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditetapkan. Yang mana acuan target berdasarkan modeling skafold menggunakan *SolidWorks* yaitu dengan porositas 49.93%. Dari penelitian didapatkan hasil optimum pengujian densitas yang menggunakan hukum Archimedes dan juga metode Taguchi menunjukkan Parameter yang berpengaruh signifikan ialah *temperature* meberikan kontribusi sebesar 25.18%, *layer thickness* memberikan kontribusi 2.98% dan *Printing Speed* 0.784%. Rancangan dari level yang menghasilkan kualitas skafold terbaik mendekati target 49.93% dan memiliki nilai S/N ratio tinggi berdasarkan percobaan metode taguchi *Temperature* dengan level 3 yaitu  $215^{\circ}\text{C}$ , *Printing Speed* level 2 yaitu 25 mm/s dan *Layer Thickness* menggunakan level 2 yaitu 0.1 mm. Optikal mikroskop Dengan menggunakan citra mikroskopis, ukuran pori 1253.49 micron dan 1253.23 micron. Seperti yang terlihat, nilai rata-rata dari parameter ini hampir sama dengan yang didefinisikan di setinggan 3D printing. Besarnya porositas scaffold juga diukur dengan prinsip Archimedes yaitu sekitar 49 persen.

**Kata Kunci:** skafold, PLA, Metode Taguchi, Densitas, mikroskop.

## **SUMMARY**

**STUDY OF QUALITY OF SKAFOLD MADE FROM PLA FROM FDM TYPE  
3D PRINTING MACHINE PRODUCTION WITH TAGUCHI METHOD**

Scientific Writing in the form of Thesis, 22 December 2020

Edo Syahrizal; Suervised by Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T dan Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri

**STUDI KUALITAS SKAFOLD BERBAHAN PLA HASIL PRODUKSI MESIN  
CETAK 3D TIPE FDM DENGAN METODE TAGUCHI**

xxvii + 52 Pages, 11 tables, 21 picture, 3 attachment

## **SUMMARY**

The development of medical science and mechanics which are combined or can be called biomechanics (biomechanics). Applications in this area for example in the bone. Bones have the unique feature of their ability to self-regenerate within a small scope of the damage. However, if there is greater damage then additional treatment is required. Tissue engineering methods have succeeded in increasing the ability to regenerate bone through the scaffold which has been designed to promote the growth of new tissue in bone. This method has provided a well-preserved bone growth and repair system because the scaffold has been designed to use non-toxic materials and can support bone tissue growth (biocompatibility). Besides, the scaffold is also designed to match the original bone tissue. which has a porous structure, so it can have osteoconductivity which can allow nutrients and bone-forming cells (osteoblasts) to develop and stick in the pores. Additive Manufacture (AM) is one of the most promising fields in component manufacturing. One of them is the 3D Fused Deposition Modeling (FDM) printing machine which allows the production of solid parts made from thermoplastic polymers, therefore the stiffness and strength are relatively small compared to other techniques. At this time, Skafold based on polylactic acid (PLA) has excellent compatibility, bio-absorbability, and can be degraded in the human body so it is often used in the medical field. Bone has a porous structure that can provide space for the development of new bone tissue and tissue circulation. Pore size and porosity are important factors for determining the mechanical strength and flow rate of the scaffold. At different pore sizes, the porosity increases, and the compressive strength decreases due to the increase in interconnection. Meanwhile, the porosity decreases, and the compressive strength increases as the pore size increases due to the same scaffold interconnection. The

Taguchi method is used to improve or engineer productivity during research and development so that high-quality products can be produced quickly and at a low cost. The Taguchi method is a design method that has the principle of quality improvement by minimizing the effects of variations without eliminating the causes. This can be obtained through product optimization and process design to obtain the optimum value. This study aims to determine the optimization of scaffold fabrication using 3D printing with PLA material. The Taguchi method is used in this research to determine the optimization of the parameters for the 3d FDM printing process to increase the accuracy of the porosity of the PLA scaffold, this method was chosen because it was efficient and was able to improve or engineer productivity during research and development so that high-quality products could be produced quickly and at a cost. low. For porosity analysis, density testing was performed and for observation using optical microscopy. The parameters used in this testing process through printer settings are Temperature (200 °C, 210 °C, 215 °C), Printing Speed (20 mm / s, 25 mm / s, 30mm / s), Layer Thickness (0.0825 mm, 0.1 mm, 0.112 mm). The characteristic used is Nominal the Better, which is the measured value based on a predetermined target value. Which is the target reference based on scaffold modeling using SolidWorks with a porosity of 49.93%. From the research, the optimum results of density testing using Archimedes' law and also the Taguchi method show that the parameters that have a significant effect are temperature which contributes 25.18%, layer thickness contributes 2.98% and Printing Speed is 0.784%. The design of the level that produces the best scaffold quality is close to the target of 49.93% and has a high S / N ratio value based on the experiment of the Taguchi Temperature method with level 3, namely 215°C, Printing Speed level 2 that is 25 mm / s and Layer Thickness using level 2, namely 0.1 mm. Optical microscope By using microscopic images, the pore size is 1253.49 microns and 1253.23 microns. As you can see, the mean value of this parameter is almost the same as the one defined in the 3D printing setting. The amount of scaffold porosity is also measured by the Archimedes principle, which is around 49 percent.

**Key Word :** scaffold, PLA, Taguchi Method, Density, microscope.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dalam rangka Tugas Akhir (Skripsi) yang dibuat untuk memenuhi syarat mengikuti Seminar dan Sidang sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “Studi Kualitas Skafold Berbahan Pla Hasil Produksi Mesin Cetak 3d Tipe Fdm Dengan Metode Taguchi”

Dalam kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini adapaun pihak tersebut adalah:

1. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
2. Bapak Amir Arifin, S.T., M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Muhammad Yanis, S.T, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dalam penyusunan tugas akhir ini
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Hasan Basri selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, membimbing, mendidik, memotivasi dan banyak memberikan sarana kepada penulis dari awal hingga selesaiya skripsi ini.
5. Bapak Prof. DR. Ir. Nukman, M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan kegiatan perkuliahan.
6. Seluruh Keluarga Besar penulis dan teman-teman yang telah membantu dalam pengerjaan skripsi ini dan memberikan saran.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan proposal skripsi ini masih banyak sekali kekurangan karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun untuk kelanjutan skripsi ini ke depannya akan sangat membantu.

Akhir kata penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang di kemudian hari.

Palembang, 22 Desember 2020



Edo Syahrizal  
NIM. 03051381621092

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xvii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xxv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xxvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xxix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat penelitian.....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1 Tulang .....	7
2.1.1 Tulang Kanselus .....	8
2.1.2 Tulang Kortikal .....	9
2.2 Rekayasa Jaringan Tulang ( <i>Bone Tissue Engineering</i> ) .....	10
2.3 Persyaratan dalam skafold .....	12
2.4 <i>Additive Manufacturing</i> .....	12
2.5 Struktur Berpori Dan Porositas Pada skafold .....	15
2.5.1 Porositas Skafold.....	16

2.6	Printer 3D .....	17
2.6.1	Parameter Mesin Cetak 3D .....	18
2.7	PLA ( <i>PolyLatic Acid</i> ).....	19
2.8	Metode Taguchi.....	20
2.8.1	Pendekatan Taguchi terhadap Rekayasa Kualitas .....	21
2.8.2	Orthogonal Array (OA) .....	22
2.8.3	Signal to Noise Ratio (S/N Ratio).....	23
2.8.4	Analisis Varians (ANOVA) .....	24
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>25</b>
3.1	Diagram Alir.....	25
3.2	Tahapan Persiapan Penelelitian.....	26
3.2.1	Persiapan Bahan dan Alat.....	26
3.2.2	Pemodelan skafold .....	27
3.2.3	Pembuatan skafold .....	28
3.3	Variabel dan Variasi .....	29
3.4	Menentukan Porositas .....	29
3.5	Menentukan Matrik <i>Orthogonal Array</i> (OA) Taguchi.....	30
3.6	<i>Optical Microscope</i> (OM) .....	32
<b>BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>33</b>
4.1	Analisa Data .....	33
4.1.1	Hasil Percetakan Mesin Cetak 3D.....	33
4.2	Pengujian Porositas .....	34
4.2.1	Parameter Optimum untuk pengujian porositas .....	45
4.3	Pengujian <i>Optical Microscope</i> (OM) .....	46
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>47</b>
5.1	Kesimpulan .....	47
5.2	Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>49</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>53</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur pada Tulang .....	9
Gambar 2.2 Ilustrasi penggunaan Perancah Tulang.....	12
Gambar 2.3 Proses <i>additive manufacturing</i> .....	13
Gambar 2.4 <i>Additive manufacture 3D printing</i> skafold.....	14
Gambar 2.5 Blok Diagram 3D Printer .....	18
Gambar 2.6 Cause and effect diagram of FDM process parameters.....	19
Gambar 2.7 PLA .....	20
Gambar 3.1 Diagram alir.....	25
Gambar 3.2 PLA .....	26
Gambar 3.3 Mesin cetak 3D.....	26
Gambar 3.4 Timbangan digital .....	27
Gambar 3.5 Model skafold berpori .....	27
Gambar 3.6 Model skafold tanpa pori.....	28
Gambar 3.7 Model Jig .....	28
Gambar 3.8 Alat uji Optical Microscope .....	32
Gambar 4.1 Model skafold setelah dicetak .....	33
Gambar 4.2 jig setelah dicetak .....	34
Gambar 4.3 Massa Kering (A) dan Massa Basah (B).....	35
Gambar 4.4 Grafik Porositas rata-rata setiap vektor dan level .....	40
Gambar 4.5 Grafik Porositas rata-rata setiap vektor dan level .....	41
Gambar 4.6 Tampilan mikroskopis dari perancah buatan .....	46

## **DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 3.1 Variabel dan Variasi .....	29
Tabel 3.2 Variabel dan Variasi Metode Taguchi .....	31
Tabel 3.3 Matrik <i>Orthogonal Array (OA)</i> dan Distribusi Faktor.....	31
Tabel 4.1 Hasil porositas semua specimen .....	36
Tabel 4.2. Porositas rata-rata.....	37
Tabel 4.3. Porositas rata-rata dan S/N ratio .....	38
Tabel 4.4 Nilai Porositas rata-rata setiap faktor dan level .....	39
Tabel 4.5 Nilai Porositas rata-rata setiap faktor dan level .....	41
Tabel 4.6 ANOVA Rata-rata.....	43
Tabel 4.7 ANOVA <i>pooling</i> .....	45
Tabel 4.8 Parameter optimum untuk pengujian korosi .....	45

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Pengolahan data Uji Porositas .....	53
Lampiran 2 Perhitungan Uji Porositas .....	54
Lampiran 3 Perhitungan Uji Porositas dengan Metode Taguchi dan Analysis of variance (ANOVA).....	55

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Ilmu pengetahuan semakin berkembang. ilmu ilmu yang sudah ada dipadukan dengan ilmu ilmu baru yang sudah dikembangkan Seperti berkembangnya ilmu kedokteran dan ilmu mekanika yang dipadukan atau bisa disebut dengan biomekanika (*biomechanics*). Aplikasi dalam bidang ini misalnya pada tulang. Tulang mempunyai fitur unik kemampuannya dapat bergenerasi dengan sendirinya didalam lingkup kerusakan yang kecil. Namun, apabila terjadi Kerusakan yang lebih besar maka diperlukan tindakan pengobatan tambahan (Hrubovčáková et al., 2016).

Kerangka atau tulang merupakan penumpu tubuh. Tubuh pasti tidak bisa tetap tegak tanpa adanya tulang. Tulang mulai berkembang di dalam rahim dan berlangsung secara teratur sampai ke dekade kedua. Tulang merupakan jaringan komposit hidup alami yang membutuhkan fase organik di mana kalsium terdiri dari kristal tertanam fase anorganik. Tulang terbentuk dari unsur bahan yang terdiri dari 60 persen mineral, 10 persen air dan 30 persen matriks. Kolagen merupakan matriks tulang terbesar yang berkewajiban untuk kekuatan tarik. Kalsium fosfat adalah faktor tulang yang memberi kekuatan tekan pada jaringan tulang. Tulang kanselus (trabekuler) dan kompak (*cortical*) merupakan dua jenis jaringan tulang (Kane & Ma, 2013). Tulang biasanya mengalami kerusakan organ yang meluas, karena kecacatan trauma, penyakit, dan juga bisa disebabkan oleh osteoporosis. Osteoporosis, patah tulang dan kerusakan tulang yang dapat mempengaruhi jaringan tulang tubuh manusia dan membutuhkan perawatan untuk meningkatkan penyembuhan jaringan, termasuk rekonstruksi dan penggantian (O'Brien, 2011).

Tindakan untuk pengobatan ortopedi pada dasarnya terpusatkan pada metode pencangkokan tulang (*bone graft*). Pencangkokan tulang dapat

dikategorikan bedasarkan asalnya. Yaitu, *allograft*, *autograft* dan *xenograft*. *Allograft* adalah pencangkokan yang mengambil dari satu orang ke orang lainnya, *autograft* adalah pencangkokan dengan mengambil bagian dari tubuh pasien dan *xenograft* pencangkokan yang dilakukan dengan mengambil dari spesies lain. Meskipun metode pencangkokan tulang merupakan metode yang sudah sering digunakan, tetapi metode ini memiliki kekurangan seperti misalnya: *allograft* memiliki resiko penolakan atau ketidak cocokan pada imun tubuh pasien, resiko infeksi atau penyebaran penyakit dari pendonor ke pasien dan keterbatasan pada jumlahnya. Pada *autograft* kendala yang dimiliki yaitu kesulitan saat pengambilan cangkok, biaya yang relatif mahal, meningkatkan resiko akan kehilangan darah, meningkatkan resiko infeksi karena pemindahan cangkok yang tidak steril dan juga menambah waktu anastesi yang menyebabkan keterlambatan penanganan dan untuk *xenograft* kendalanya sendiri adalah tidak ada sifat *osteokonduksi* sehingga menyebabkan jaringan baru tidak dapat berkembang didalam tulang yang telah melakukan pencangkokan. Dan karena itu metode rekayasa jaringan (*tissue engineering*) merupakan solusi dalam pengobatan dan perbaikan tulang (O'Brien, 2011).

Metode rekayasa jaringan sudah berhasil meningkatkan kemampuan regenerasi tulang melewati skafold yang telah didesain sebagai pemicu pertumbuhan jaringan baru pada tulang. Metode ini telah memberikan sistem pertumbuhan dan perbaikan tulang yang sangat terjaga dikarenakan skafold telah dirancang menggunakan material yang bersifat bebas racun (*non-toxic*) dan bisa mendukung aktifitas pertumbuhan jaringan tulang (*biokompatibilitas*), selain itu skafold juga dirancang menyamai sedemikian rupa dengan jaringan tulang asli yang memiliki struktur berpori, sehingga mempunyai kemampuan *osteokonduktifitas* yang dapat memungkinkan nutrisi dan sel pembentuk tulang (*osteoblast*) dapat berkembang dan menempel di dalam pori – pori. skafold tulang dirancang untuk mempunyai sifat mekanis yang mendekati sifat dari tulang asli dan bersifat *bioresorbabilitas* sehingga skafold dapat *terdegradasi* seiring dengan terbentuknya jaringan tulang baru, dan tidak diperlukannya lagi tindakan operasi (pengangkatan implan) (Bose et al., 2012).

Dengan munculnya teknologi *additive manufacturing* pada pertengahan 1980-an, banyak aplikasi yang mendapat manfaat dari pemrosesan produk yang lebih cepat tanpa perlu peralatan khusus. Namun, penerapan teknik tersebut di bidang perangkat biomedis lambat karena kriteria kinerja yang ketat dan kekhawatiran terkait dengan reproduktifitas dan kualitas, ketika teknologi baru sedang dalam masa pertumbuhan. Namun, penggunaan teknologi *additive manufatur* dalam rekayasa jaringan tulang sudah berkembang dalam beberapa tahun terakhir ini. Di antaranya opsi teknologi yang berbeda dari yang lainnya, mesin cetak 3D menjadi populer karena kemampuannya yang mampu langsung mencetak skafold berpori dengan bentuk yang dirancang dan porositas yang saling berhubungan satu sama lain. Beberapa skafold anorganik ini dapat terurai secara hayati dan sudah terbukti ideal untuk rekayasa jaringan tulang, terkadang bahkan dengan faktor pertumbuhan khusus atau kemampuannya pengiriman obat (Bose et al., 2013).

Sekarang metode rekayasa jaringan tulang umumnya menggunakan material antara lain adalah sintetis, polimer alami, atau keramik bioaktif, keramik, komposit polimer (Berger et al., 2004). Dengan bahan logam terdiri dari paduan titanium, *stainless steel* dan *cobalt-chromuim* yang berbasis perpaduan untuk memainkan peran yang sangat penting dalam penerapan fiksasi fraktur tulang. Tetapi, sekarang biomaterial memiliki kemampuan melepas ion berbahaya dan memiliki kemungkinan terjadinya peradangan terhadap jaringan yang berada disekitar implan karena pertikel mendapat proses biodegradasi dan juga keausan. Dan juga fabrikasi implan yang sangat rumit dan memiliki ukuran kecil maka dibutuhkan fabrikasi dengan menggunakan percetakan tiga dimensi. *PolyLatic Acid* (PLA) sering digunakan dalam bidang medis, digunakan sebagai bahan jahitan, untuk fiksasi dan rekonstruksi tulang, untuk perangkat pengiriman obat, panduan regenerasi saraf, dan rekonstruksi ligamen. karena memiliki kompatibilitas yang sangat baik, bioabsorbabilitas, dan bisa terdegradasi didalam tubuh manusia (Giordano et al., 1997).

Pendekatan Taguchi adalah teknik ilmiah yang digunakan untuk meningkatkan atau merekayasa efisiensi sebagai kualitas tinggi barang dibuat melalui penelitian dan pengembangan yang dapat diproduksi dengan biaya yang

relatif rendah dan dengan cepat. Pendekatan Taguchi adalah metode desain teoritis berubah tanpa meminimalkan pemicu dengan mengurangi hasil variasi. Ini bisa dilakukan untuk mencapai nilai optimal dengan pengoptimalan produk dan desain proses (Wahjudi et al., 2001).

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan diatas, disini peneliti hendak mengambil pokok bahasan yang berdasar dari penelitian sebelumnya yang sudah ada, dengan judul “Studi Kualitas Skafold Berbahan PLA Hasil Produksi Mesin Cetak 3D Tipe FDM Dengan Metode Taguchi”.

## 1.2 Rumusan Masalah

*Additive Manufacture* (AM) merupakan salah satu bidang yang paling menjanjikan dalam pembuatan komponen. Opsi teknologi mesin cetak 3D digunakan karena memiliki kemampuan mampu langsung mencetak skafold berpori dengan bentuk yang dirancang dan porositas yang saling berhubungan satu sama lain. Saat ini skafold berbasis PLA dianggap sebagai pengobatan untuk tulang kalselus karena memiliki kompatibilitas yang sangat baik, bioabsorbabilitas, dan bisa terdegradasi didalam tubuh manusia. Karena porositas skafold sangat berpengaruh pada tingkat biodegradasi. Pada penelitian ini akan dilakukan dengan metode Taguchi untuk mendapatkan nilai porositas yang sesuai dengan target yang telah ditentukan untuk fabrikasi skafold.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Permodelan skafold menggunakan perangkat lunak SolidWorks.
2. Fabrikasi skafold menggunakan mesin cetak 3D tipe FDM.
3. Material yang digunakan adalah PLA.
4. Parameter proses yang digunakan yaitu temperatur, kecepatan cetak , tebal lapisan.

5. Dalam penelitian ini mencari porositas dari skafold.
6. Dalam penelitian ini menggunakan metode Taguchi untuk mendapatkan nilai porositas yang sesuai dengan target yang telah ditentukan untuk fabrikasi skafold.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis pengaruh temperatur, tebal lapisan, kecepatan cetak, tebal lapisan mesin cetak 3D terhadap nilai porositas skafold yang berbahan PLA.
2. Mendapatkan nilai porositas skafold yang sesuai dengan target yang telah ditentukan dengan metode Taguchi.
3. Menentukan faktor yang sangat berpengaruh terhadap fabrikasi skafold dengan ANOVA.

#### **1.5 Manfaat penelitian**

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bentuk kontribusi untuk perkembangan ilmu Biomekanika di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
2. Penelitian ini memberi pengetahuan mendasar mengenai fabrikasi skafold dengan menggunakan *additive manufacture* dan menggunakan metode Taguchi untuk mendapatkan nilai yang sesuai dengan target untuk fabrikasi skafold.
3. Dapat dijadikan sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya untuk mencari parameter lainnya yang mempengaruhi nilai optimum skafold.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atala, A. (2004). *Tissue Engineering and Regenerative Medicine* : 7(1).
- Berger, J., Reist, M., Mayer, J. M., Felt, O., Peppas, N. A., and Gurny, R. (2004). *Structure and Interactions in Covalently and Ionically Crosslinked Chitosan Hydrogels for Biomedical Applications.* 57, 19–34.  
[https://doi.org/10.1016/S0939-6411\(03\)00161-9](https://doi.org/10.1016/S0939-6411(03)00161-9)
- Bose, S., Roy, M., and Bandyopadhyay, A. (2012). *Recent Advances in Bone Tissue Engineering Scaffolds.* 30(10), 546–554.  
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.07.005>
- Bose, S., Vahabzadeh, S., and Bandyopadhyay, A. (2013). *Bone Tissue Engineering Using 3D Printing.* 16(12), 496–504.  
<https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.11.017>
- Campbell, T. (2012). *Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing.*
- Chen, Yuhang, and Appleyard, R. (2011). *Design Optimization of Scaffold Microstructures Using Wall Shear Stress Criterion Towards Regulated Flow-Induced Erosion.* 133, 1–11. <https://doi.org/10.11115/1>
- Chen, Yun, Mak, A. F. T., Wang, M., Li, J., and Wong, M. S. (2006). *PLA Scaffolds with Biomimetic Apatite Coating and Biomimetic Apatite / Collagen Composite Coating to Enhance Osteoblast-like Cells Attachment and Activity.* 201, 575–580. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.12.005>
- Gaalen, S. Van, Kruyt, M., Meijer, G., Mistry, A., Mikos, A., Beucken, J. Van Den., and Dhert, W. (n.d.). *Chapter 19 Tissue engineering of bone Chapter objectives :*
- Gibson, L. J. (1997). *The Design of Sandwich Panels with Foam Cores.*
- Giordano, R. A., Wu, B. M., Scott, W., Cima, L. G., Sachs, E. M., and Cima, M. J. (1997). *Journal of Biomaterials Science , Mechanical Properties of Dense Polylactic Acid Structures Fabricated by Three Dimensional Printing.* (December 2012), 63–75.
- Hatton, G. B., Wang, J., Buanz, A., Gaisford, S., and Basit, A. W. (2015).

- Fabrication of Controlled-Release Budesonide Tablets Via Desktop (FDM) 3D Printing.* <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.10.039>
- Hollister, S. J., Maddox, R. D., and Taboas, J. M. (2002). *Optimal Design and Fabrication of Scaffolds to Mimic Tissue Properties and Satisfy Biological Constraints.* 23, 4095–4103.
- Hollister, Scott J. (2005). *Porous Scaffold Sesign for Tissue Engineering.* 4(July).
- Hollister, Scott J, Ph, D., Murphy, W. L., and Ph, D. (2011). *Scaffold Translation : Barriers Between Concept and Clinic.* 17(6). <https://doi.org/10.1089/ten.teb.2011.0251>
- Hrubovčáková, M., Kupková, M., and Džupon, M. (2016). *Fe and Fe-P Foam for Biodegradable Bone Replacement Material: Morphology, Corrosion Behaviour, and Mechanical Properties.* 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6257368>
- Kabirian, F., Ditkowski, Bartek., Zamanian, Ali., Heying, Ruth., and Mozafari, Masoud. (2018). *An Innoative Approach 3D-Printed Scaffolds for The Next Generation of tissue-enggineered Vascular Grafts.* 15586-15594
- Kane, R., and Ma, P. X. (2013). *Mimicking the Nanostructure of Bone Matrix to Regenerate Bone.* 16(11), 418–423. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.11.001>
- Khaleeq, U., Boesch, E., Siadat, A., Rivette, M., and Baqai, A. A. (2019). *Impact of Fused Deposition Modeling ( FDM ) Process Parameters on Strength of Built Parts using Taguchi ' s Design of Experiments.* 1215–1226.
- Kneser, U., Schsefer, D. J., Polykandriotis, E., and Horch, R. E. (2006). *Tissue Engineering of Bone: The Reconstructive Surgeon ' s Point of View.*
- Naghieh, S., Ravari, M. R. K., Foroozmehr, E., and Kadkhodaei, M. (2016). *Numerical Investigation of the Mechanical Properties of the Additive Manufactured Bone Scaffolds Fabricated by FDM: the Effect of Layer Penetration and Post-Heating.* 6161(16), 1–21.
- Nampoothiri, K. M., Nair, N. R., and John, R. P. (2010). *Bioresource Technology An overview of the recent developments in polylactide ( PLA ) research.* *Bioresource Technology,* 101(22), 8493–8501. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.092>

- O'Brien, F. J. (2011). *Biomaterials & Scaffolds for Tissue Engineering*. 14(3), 88–95. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(11\)70058-X](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(11)70058-X)
- Putra, A. K., Fidiyanto, F., Prakoso, B., Armantya, Z., Sandi, M. K., Hari, F., and Sucipto, J. A. (2019). *Perakitan 3D Printer Fused Deposite Modeling(FDM) Berbasis Arduino Mega 2560*. 12(2012), 123–133.
- Rasal, R. M., Janorkar, A. V., and Hirt, D. E. (2010). Progress in Polymer Science Poly ( lactic acid ) modifications. *Progress in Polymer Science*, 35(3), 338–356. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.12.003>
- Roy, R. K. (2010). *Taguchi Method*.
- Saad, A. P., Jasmawati, N., Harun, M. N., Rafiq, M., Kadir, A., Nur, H., and Syahrom, A. (2016). *Dynamic Degradation of Porous Magnesium under a Simulated Environment of Human Cancellous Bone*. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.08.017>
- Schubert, C., Langeveld, M. C. Van, and Donoso, L. A. (2014). *Innovations in 3D Printing : a 3D Overview from Optics to Organs*. 159–161. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2013-304446>
- Song, Y., Li, Y., Song, W., Yee, K., Tagarielli, V. L., Li, Y., and Tagarielli, V. L. (2017). *Measurements of the Mechanical Response of Unidirectional 3D-Printed PLA*. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.051>
- Srivastav, A. (2011). *An Overview of Metallic Biomaterials for Bone Support and Replacement Anupam*. 153–168. <https://doi.org/10.5772/13488>
- Valerga, A. P. (2018). *Influence of PLA Filament Conditions on Characteristics of FDM Parts*. <https://doi.org/10.3390/ma11081322>
- Wahjudi, D., San, G. S., Fakultas, D., Industri, T., Teknik, J., Universitas, M., and Petra, K. (2001). *Optimasi Proses Injeksi dengan Metode Taguchi*. 3(1), 24–28.
- Wang, J., and Yu, X. (2010). *Acta Biomaterialia Preparation , Characterization and in vitro Analysis of Novel Structured Nanofibrous Scaffolds for Bone Tissue Engineering*. 6(8), 3004–3012. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.01.045>
- Woodruff, M. A., Lange, C., Reichert, J., Berner, A., Chen, F., Fratzl, P., and Hutmacher, D. W. (2012). *Bone Tissue Engineering : From Bench to Bedside*

- the Drive to Develop Bone Grafts for the Filling of Major Gaps in the Skeletal.*  
15(10), 430–435. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(12\)70194-3](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(12)70194-3)
- Wuryandari, T. (n.d.). *Metode Taguchi untuk Optimasi Produk Pada Perancangan Faktorial*. 81–92.
- Yu, C., Kikuchi, N., and Hollister, S. J. (2004). *A Novel Method for Biomaterial Scaffold Internal Architecture Design to Match Bone Elastic Properties with Desired Porosity*. 37, 623–636.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2003.09.029>.
- Yuan, L., Ding, S., and Wen, C. (2019). *Bioactive Materials Additive Manufacturing Technology for Porous Metal Implant Applications and Triple Minimal Surface Structures : A review*. 4(1), 56–70.  
<https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2018.12.003>.