

## KARAKTERISASI BERBANTUAN KOMPUTER UNTUK SIFAT MEKANIS DARI 3 DESAIN STRUKTUR *BONE* *SCAFFOLD*

**Dhananjaya Yama Hudha Kumarajati**  
Universitas PGRI Yogyakarta  
**dhananjaya@upy.ac.id**

### **Intisari**

*Bone scaffold* merupakan bahan atau material yang digunakan untuk mengisi atau menambal kerusakan yang terjadi pada tulang. Kekuatan mekanis yang sesuai pada *bone scaffold* merupakan sifat yang harus dimiliki oleh *bone scaffold*. Metode elemen hingga (FEM) merupakan salah satu metode berbasis komputer yang dapat digunakan untuk mensimulasikan analisis kekuatan mekanis. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian tekan terhadap 3 desain *bone scaffold* yang diajukan untuk mengetahui kekuatan tekan dari *bone scaffold*. Analisis elemen hingga (FEA) dilakukan untuk mengetahui karakteristik kekuatan mekanis yang terjadi pada *bone scaffold*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain dengan kode BG1b-90a merupakan desain terbaik, diantara 3 desain yang diajukan. Desain BG1b-90a mampu menahan kekuatan tekan 1,65 MPa. Kekuatan tekan ini sebanding dengan kekuatan tekan tulang *cancellous* manusia.

**Kata kunci**, *bone scaffold*, metode elemen hingga, kekuatan mekanis

### **Abstract**

*Bone scaffold is a material or material used to fill or patch the damage that occurs in the bone. Appropriate mechanical strength in bone scaffold is a trait that must be owned by bone scaffold. The finite element method (FEM) is one of the computer-based methods that can be used to simulate a mechanical strength analysis. In this research there will be a compressive test to 3 bone scaffold design which is proposed to know the compressive strength of bone scaffold. Finite element analysis (FEA) is performed to determine the mechanical strength characteristics that occur in bone scaffold. The results show that the design with code BG1b-90a is the best design, among 3 designs submitted. Design BG1b-90a able to withstand the compressive strength of 1.65 MPa. This compressive strength is proportional to the compressive strength of human cancellous bone.*

**Keyword**-*bone scaffold, finite element method, mechanical strength*

**KARAKTERISASI BERBANTUAN KOMPUTER  
UNTUK SIFAT MEKANIS DARI 3 DESAIN  
STRUKTUR *BONE SCAFFOLD*  
(Dhananjaya Yama Hudha Kumarajati)**

## **PENDAHULUAN**

*Bone scaffold* merupakan bahan atau material yang digunakan untuk mengisi atau menambal kerusakan yang terjadi pada tulang [1]. Adapun kriteria kerusakan tulang yang memerlukan penanganan menggunakan *bone scaffold* adalah *nonunion defect*. *Nonunion defect* merupakan kerusakan tulang dimana terdapat sela/jarak diantara kerusakan tulang, sehingga tulang tidak mampu memperbaiki kerusakan tersebut secara alami [1]. Dalam aplikasinya, *bone scaffold* memiliki sifat-sifat ideal yang harus dimiliki agar dapat membantu penyembuhan tulang.

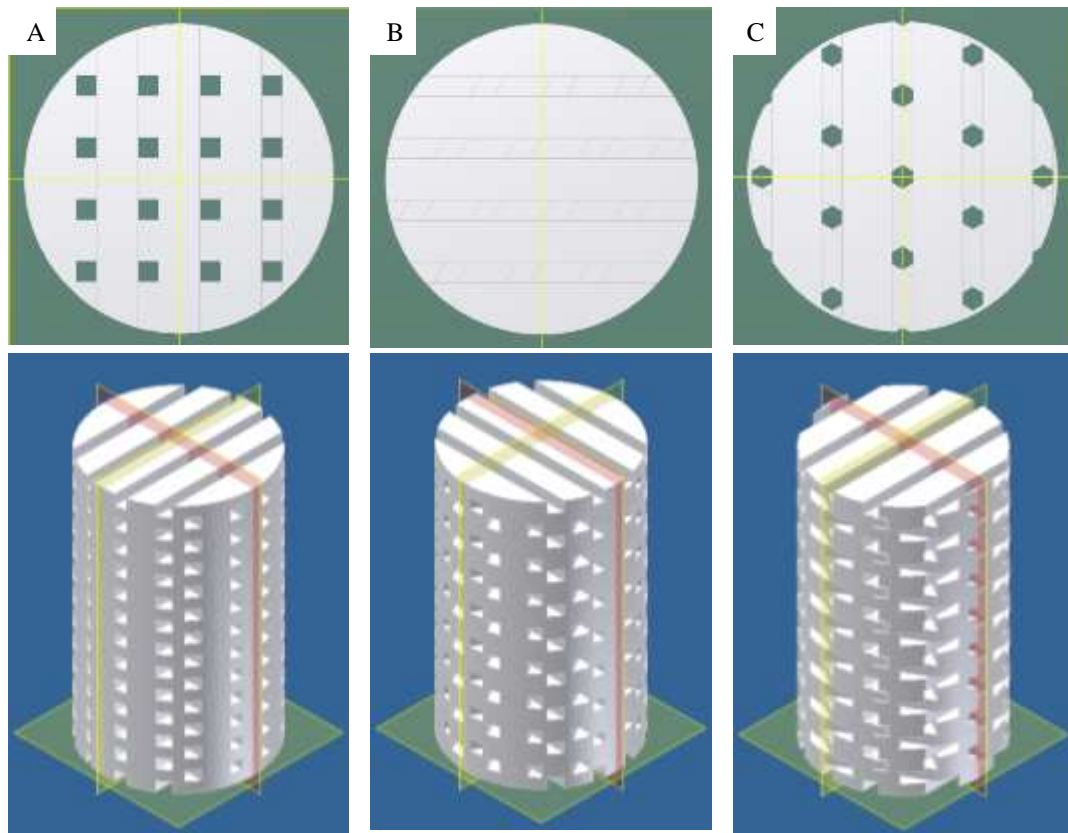
Abdellal et al (2011) menyebutkan sifat-sifat ideal yang harus dimiliki oleh *bone scaffold* yaitu, *biocompatible*, *biodegradable*, pori yang saling interkoneksi, memiliki kekuatan mekanis yang sesuai, *3D highly porous*, dan topografi permukaan yang sesuai. Sifat mekanis dari ideal *bone scaffold* harus sesuai dengan sifat mekanis tulang dimana *bone scaffold* akan ditempatkan, serta memiliki transfer beban yang tepat [2]. Kekuatan mekanis dari tulang sangat bervariasi dari tulang *concellous* hingga tulang *cortical*. Besarnya variasi sifat mekanis dan geometri tulang mengakibatkan *bone scaffold* ideal susah untuk didesain [3]. Kekuatan mekanis dari suatu benda dipengaruhi oleh struktur (bentuk) dan jenis material dari benda tersebut [2]. Salah satu metode karakterisasi kekuatan mekanis yang sedang banyak dikembangkan sekarang [4] adalah dengan menggunakan *computer-aided characterization* (karakterisasi dengan bantuan komputer) [3]. Hal ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang menggunakan metode elemen hingga [5].

Metode Elemen Hingga (*Finite element method*, FEM) merupakan sebuah metode numerical untuk memecahkan permasalahan keteknikan dan fisika matematika. FEM juga dapat disebut sebagai analisis elemen hingga (*Finite element analysis*, FEA). Teknik FEA mencakup penggunaan teknik pembuatan *mesh* untuk membagi masalah kompleks, menjadi elemen kecil, begitu pula penggunaan program perangkat lunak yang dikodekan dengan algoritma FEM [5].

Dalam penelitian ini akan dilakukan karakterisasi kekuatan mekanis dari 3 jenis desain struktur dari *bone scaffold*. Adapun karakteristik kekuatan mekanis yang analisis adalah *equivalent stress*, *maximum principal stress*, *deformation* dan *safety faktor*. Dalam penelitian ini juga akan dilakukan uji tekan terhadap 3 desain struktur *bone scaffold*, untuk mengetahui nilai rata-rata kekuatan tekannya.

## **METODE PENELITIAN**

Terdapat dua metode yang digunakan dalam penelitian ini, yang pertama untuk mengetahui karakteristik kekuatan tekan. Metode yang digunakan adalah simulasi analisis kekuatan dengan menggunakan analisis elemen hingga (FEA) dengan bantuan *Autodesk Inventor ANSYS Technology*. Adapun desain struktur *bone scaffold* yang disimulasikan terdapat pada Gambar 1, dengan parameter desain struktur terdapat pada Tabel 1.



Gambar 1. Desain Struktur *bone scaffold*, disimulasi dari desain cetakan. A. BG1b-90a, B. BG1b-90b, C. BG1b-90c.

Tabel 1. Parameter Desain Struktur

<b>Nama Data</b>	<b>BG1b-90a</b>	<b>BG1b-90b</b>	<b>BG1b-90c</b>
<b><i>Geometry and Mesh</i></b>			
<i>Bounding Box Dimensions</i>	15mm,15mm 27mm	15mm,15mm 27mm	15mm,15mm 27mm
<i>Part Mass</i>	1,085e-002kg	1,085e-002kg	1,08e-002kg
<i>Part Volume</i>	3438 mm <sup>3</sup>	3438 mm <sup>3</sup>	3421 mm <sup>3</sup>
<i>Nodes</i>	27762	28761	41744
<i>Elements</i>	13995	14074	19345
<b><i>Material Data</i></b>			
<i>Young's Modulus</i>	6,8e+004 MPa	6,8e+004 MPa	6,8e+004 MPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,19	0,19	0,19
<i>Mass Density</i>	3,156e-006 kg/mm <sup>3</sup>	3,156e-006 kg/mm <sup>3</sup>	3,156e-006 kg/mm <sup>3</sup>
<i>Tensile Yield Strength</i>	40 MPa	40 MPa	40 MPa
<i>Tensile Ultimate Strength</i>	40 MPa	40 MPa	40 MPa
<b><i>Load</i></b>			
<i>Surface Pressure</i>	5 MPa	5 MPa	5 MPa

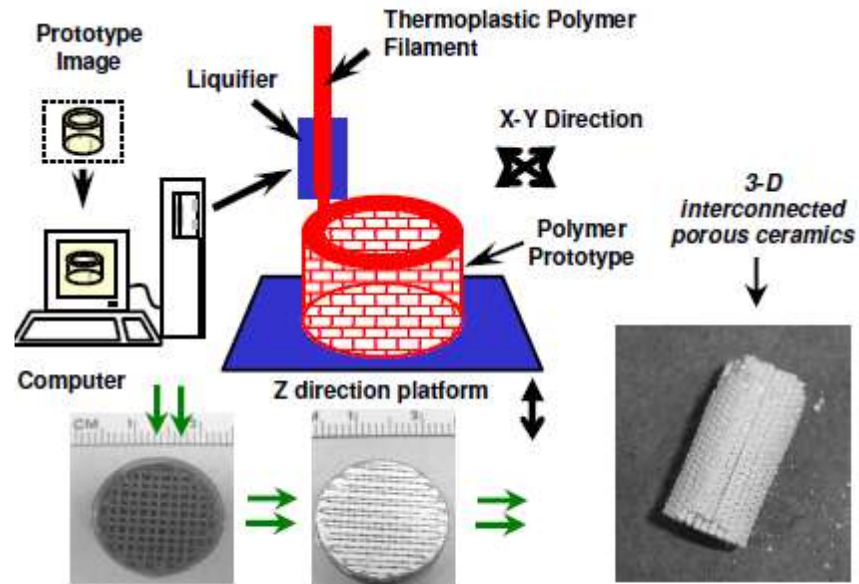
**KARAKTERISASI BERBANTUAN KOMPUTER  
UNTUK SIFAT MEKANIS DARI 3 DESAIN  
STRUKTUR *BONE SCAFFOLD*  
(Dhananjaya Yama Hudha Kumarajati)**

Metode penelitian yang kedua adalah pengujian tekan terhadap *bone scaffold* yang dihasilkan melalui metode *indirect fused deposition modeling*. Adapun *bone scaffold* tersebut terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Gambar *bone scaffold* yang dihasilkan melalui metode *indirect fused deposition modeling*. A: BG1b-90a, B: BG1b-90b, C: BG1b-90c.

*Bone scaffold* dihasilkan melalui metode *indirect fused deposition modeling* sesuai dengan skema yang ditunjukkan pada Gambar 3 [6]. Pasta komposit BHA-MgO diekstrusikan kedalam cetakan yang dibuat dengan menggunakan printer 3D dengan pori-pori yang saling interkoneksi (*metode fused deposition modeling*), sehingga didapatkan *greenbody*. *Greenbody* tersebut kemudian dikeringkan secara perlahan dalam suhu ruang sampai didapatkan *greenbody* padat. Untuk menghilangkan cetakan polimer dan meningkatkan densitas dari *greenbody* dilakukan proses *sintering* dengan kenaikan suhu 5°C/menit hingga mencapai suhu 1250°C dan ditahan pada suhu tersebut selama 2 jam.



Gambar 3. Skema dari *Indirect FDM* [6]

Ketiga spesimen pada Gambar 2 diuji tekan menggunakan *fully automated instron tensile tester* dengan kecepatan penekanan konstan sebesar 0.05mm/menit. Kekuatan tekan dari benda uji ini kemudian dihitung dan didapatkan. Adapun gambar dari mesin uji tekan ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 4. Mesin uji tekan (*instron tensile tester*)

Keseluruhan perhitungan analisis statistik yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan bantuan *software* minitab 15. Adapun analisis statistik yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian ANAVA dan pengujian *power* atau *sample size*. Analisis ANAVA dilakukan dengan menggunakan *confidence level* sebesar 99% ( $\alpha = 0,01$ ).

Untuk menentukan jumlah benda uji minimum yang diperlukan agar pengujian ANAVA ini valid, dilakukan pengujian *power* atau *sample size* tes, yang terdapat pada *software* minitab 15.

Benda uji silinder dengan ukuran  $\text{Ø}6\text{mm-T}12\text{mm}$ , dibuat dengan mengekstrusikan pasta komposit BHA-MgO dengan komposisi MgO 0-5% berat ke dalam cetakan silinder dengan ukuran  $\text{Ø}6\text{mm}$ , T12mm, sehingga didapatkan *greenbody*. *Greenbody* tersebut kemudian dikeringkan secara perlahan dalam suhu ruang sampai didapatkan *greenbody* padat. *Greenbody* padat tersebut kemudian dilakukan proses sintering pada suhu  $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan *heating rate*  $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  dan ditahan dalam suhu tersebut selama 2 jam. Metode pembuatan yang sama juga diterapkan untuk benda uji ukuran  $\text{Ø}15\text{mm-T}6\text{mm}$ . Perbedaannya terletak pada jenis cetakannya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Stress Analysis menggunakan Software Autodesk Inventor 2008

Karakteristik kekuatan tekan yang dihasilkan melalui *Autodesk Inventor ANSYS Technology* ditunjukkan pada Tabel 2. Dari hasil analisis tersebut diketahui bahwa nilai konsentrasi tegangan (*equivalent stress*) tertinggi diterima oleh data file BG1b-90c yaitu sebesar 40.49 MPa pada nilai maximumnya. Nilai

**KARAKTERISASI BERBANTUAN KOMPUTER  
UNTUK SIFAT MEKANIS DARI 3 DESAIN  
STRUKTUR *BONE SCAFFOLD*  
(Dhananjaya Yama Hudha Kumarajati)**

konsentrasi tertinggi kedua adalah data BG1b-90b, yaitu sebesar 31.22 MPa. Dan yang terakhir adalah data BG1b-90a, sebesar 14.37 MPa.

Tabel 2. Karakteristik Kekuatan hasil Analisis

No	Nama Data	Equivalent Stress (MPa)		Maximum Principal Stress (MPa)		Minimum Principal Stress (MPa)		Deformation (mm)	Safety Factor
		Min	Max	Min	Max	Min	Max		
1	BG1b-90a	0.764	14.37	-2.123	3.518	-13.77	-0.698	3.508e-03	2.784
2	BG1b-90b	0.8536	31.22	-1.473	6.696	-31.3	1.432	3.749e-03	1.281
3	BG1b-90c	0.4878	40.49	-1.916	12.33	-38.1	1.996	4.305e-03	0.988

Konsentrasi tegangan merupakan besar tegangan yang diterima pada suatu titik tertentu dalam suatu struktur desain. Konsentrasi tegangan ini merupakan salah satu hal yang harus dihindari dalam suatu desain, karena apabila nilai konsentrasi tegangan ini melebihi kekuatan bahan yang digunakan, struktur desain tersebut akan hancur. Dari hasil analisis yang didapatkan nilai konsentrasi tegangan tertinggi terdapat pada data BG1b-90c, hal ini menunjukkan bahwa data BG1b-90c memiliki struktur desain yang lebih rentan hancur dibandingkan kedua desain lainnya. Hal ini didukung dengan nilai deformasi dan nilai *safety factor* yang dimiliki setiap desain.

Deformasi menunjukkan besar perubahan dimensi dari dimensi awal desain. Sehingga nilai deformasi menunjukkan seberapa kuat suatu desain dalam mempertahankan bentuk setelah diberikan tekanan. Dengan besar tekanan yang sama yang diberikan pada setiap desain, desain BG1b-90a, memiliki kemampuan menahan deformasi yang lebih tinggi dari desain BG1b-90b dan BG1b-90c. Hal ini terlihat dari desain BG1b-90c memiliki nilai deformasi yang paling kecil, yaitu sebesar 3.508e-03 mm.

*Safety factor* dapat didefinisikan sebagai faktor pengali dari kekuatan tekan yang diijinkan (*allowable stress*). Sehingga bila suatu desain memiliki *safety factor* dua, berarti desain tersebut memiliki dua kali nilai kekuatan tekan bahan yang diijinkan. Desain BG1b-90a memiliki nilai *safety factor* sebesar 2.784, BG1b-90b sebesar 1.281, dan BG1b-90c sebesar 0.988. Dari nilai-nilai tersebut dapat diketahui bahwa kekuatan tekan dari desain BG1b-90a hampir dua kali dari kekuatan kedua desain lainnya.

Hasil dari uji kekuatan tekan maupun analisis menggunakan *software* menunjukkan bahwa desain BG1b-90a merupakan desain terbaik, bila dibandingkan dengan kedua desain lainnya. Untuk pengujian tekan, desain yang memiliki kekuatan tekan terbesar kedua

### Kekuatan Mekanis dari Tiga Struktur Desain Bone Scaffold

Dalam penelitian ini diuji dan dibandingkan kekuatan tekan dari tiga desain arsitektur *bone scaffold*. Empat benda uji untuk masing-masing desain arsitektur diuji tekan menggunakan *fully automated instron tensile tester* dengan kecepatan penekanan konstan sebesar 0.05mm/menit. Kekuatan tekan dari benda uji ini kemudian dihitung dan didapatkan. Adapun hasil pengujian tekan tersebut dirangkum pada Tabel 3.

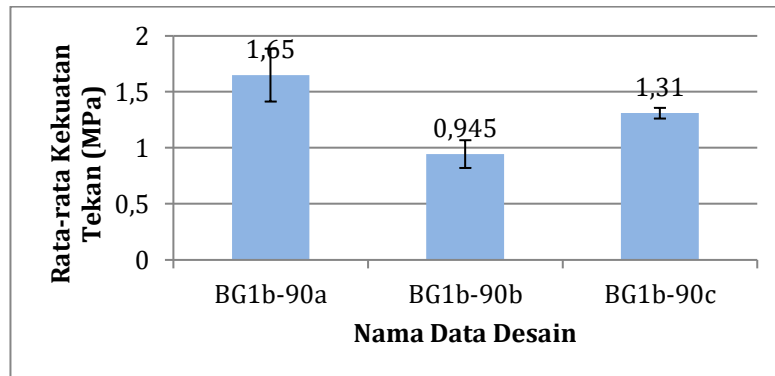
Tabel 3. Perbandingan Kekuatan Tekan dari Tiga Jenis Arsitektur *Bone Scaffold*.

Nama Data	Benda Uji	Dia	Area	Gaya Max	Kekuatan Tekan	Rata-rata Kekuatan Tekan	Elongation	StDev
			mm <sup>2</sup>	N	N/mm <sup>2</sup>	MPa	%	
BG1b-90a	BG1	14,4	162,86	300	1,84	1,65	138	0,2359
	BG2	14,3	642,42	285	1,77		122	
	BG3	14,4	162,86	274	1,68		137	
	BG4	14,3	160,61	210	1,31		122	
BG1b-90b	BG6	14,5	165,13	166	1,01	0,95	187	0,1240
	BG7	14,5	165,13	164	0,99		147	
	BG8	14,4	162,86	166	1,02		130	
	BG9	14,3	160,61	123	0,76		140	
BG1b-90c	BG11	14,4	162,86	208	1,28	1,31	172	0,0476
	BG12	14,4	162,86	209	1,28		165	
	BG13	14,4	162,86	225	1,38		127	
	BG14	14,4	162,86	212	1,30		145	

Dari hasil pengujian tekan didapatkan bahwa nilai rata-rata kekuatan tekan terbesar terdapat pada desain BG1b-90a, yaitu sebesar  $1.65 \pm 0.2359$  MPa, sedangkan untuk desain BG1b-90c rata-rata kekuatannya adalah sebesar  $1.31 \pm 0.0476$  MPa, dan yang terakhir BG1b-90b memiliki kekuatan tekan sebesar  $0.945 \pm 0.1240$  MPa. Kekuatan tekan ini sebanding dengan kekuatan tekan tulang *cancellous* manusia, yang memiliki kekuatan tekan berkisar 0.5-14,6 MPa [6].

Hasil uji tekan yang dilakukan pada 3 desain struktur ini sesuai dengan hasil karakteristik kekuatan tekan dengan menggunakan *Autodesk Inventor*, yang menunjukkan bahwa desain dengan desain BG1b-90a merupakan desain yang mampu menerima kekuatan tekan terbesar.

**KARAKTERISASI BERBANTUAN KOMPUTER  
UNTUK SIFAT MEKANIS DARI 3 DESAIN  
STRUKTUR *BONE SCAFFOLD*  
(Dhananjaya Yama Hudha Kumarajati)**



Gambar 5. Grafik Batang Nilai Perbandingan Kekuatan Tekan *Bone Scaffold*

### Analisa Statistik Uji Tekan 3 Struktur Desain

Hasil pengujian tekan yang telah dilakukan kemudian dianalisa statistik untuk mengetahui apakah perbedaan kekuatan tekan antar desain berbeda secara signifikan. Analisa statistik yang dilakukan adalah ANAVA dan analisis *power* dan *sample size*.

Perhitungan ANAVA dilakukan dengan menggunakan nilai *confident level* sebesar 99% atau  $\alpha = 0.01$ . Dengan menggunakan *software* minitab didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian ANAVA untuk Uji Tekan Tiga Desain Arsitektur

---

#### One-way ANAVA: 1, 2, 3

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0.9945	0.4972	20.35	0.000
Error	9	0.2199	0.0244		
Total	11	1.2144			

S = 0.1563    R-Sq = 81.89%    R-Sq(adj) = 77.87%

---

Dari hasil penghitungan menggunakan *software* minitab didapatkan nilai  $F$  sebesar 20.35 dan nilai  $P$  sebesar 0.000. Dari tabel yang terdapat pada Montgomery, 2003, diketahui nilai  $f_{0.01,2,9}$  adalah sebesar 8.02. Karena nilai  $f_{0.01,2,9} = 8.02$  lebih kecil dari nilai  $F = 20.35$ , maka  $H_0$  dapat ditolak dan dapat disimpulkan bahwa desain arsitektur sangat berpengaruh terhadap kekuatan tekan dari *bone scaffold*. Dan karena nilai  $P = 0.000$  sangat kecil dibandingkan nilai  $\alpha = 0.01$ , didapatkan bukti yang kuat untuk menyimpulkan bahwa  $H_0$  tidak benar.

Untuk mengetahui apakah jumlah sampel yang digunakan memiliki *power* yang cukup maka dilakukan pengujian *power* dengan menggunakan *software* minitab. Pengujian *power* ini menggunakan *number of level* 3, dengan jumlah sampel 4 buah, dan nilai perbedaan maksimum antar rata-ratanya adalah sebesar 0.705, dan standar deviasi yang diambil dari  $MS_{error}$  hasil perhitungan ANAVA. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5.



Tabel 5. Hasil Pengujian *Power* untuk Perbandingan Desain Arsitektur.

---

**Power and Sample Size**

One-way ANOVA

Alpha = 0.01 Assumed standard deviation = 0.0244 Number of Levels = 3

SS Means	Sample Size	Power	Maximum Difference
0.248512	4	1	0.705

The sample size is for each level.

---

Dari hasil perhitungan *power* yang dilakukan, didapatkan nilai *power* sebesar 1. Dengan demikian, jumlah sampel sebanyak 4, untuk pengujian tekan dan penghitungan ANOVA bisa dikatakan valid, karena memiliki nilai *power* sebesar 1.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian karakterisasi berbantuan komputer untuk sifat mekanis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan karakterisasi berbantuan komputer didapatkan bahwa desain BG1b-90a merupakan desain terbaik, bila dibandingkan dengan kedua desain lainnya. Untuk pengujian tekan, desain yang memiliki kekuatan tekan terbesar kedua adalah desain BG1b-90c, sedangkan berdasarkan *stress analysis*, desain terbaik kedua adalah desain BG1b-90b.
2. Dari hasil pengujian tekan yang dilakukan, desain *bone scaffold* yang menghasilkan kekuatan tekan tertinggi adalah *bone scaffold* dengan desain yang memiliki sudut antar batangnya sebesar 90° atau desain dengan kode BG1b-90a. Hal ini disebabkan desain arsitektur ini memiliki nilai konsentrasi tegangan yang paling kecil dibandingkan kedua desain lainnya.

### SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah dijabarkan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Pengujian bisa dilakukan untuk desain-desain lainnya.

**KARAKTERISASI BERBANTUAN KOMPUTER  
UNTUK SIFAT MEKANIS DARI 3 DESAIN  
STRUKTUR *BONE SCAFFOLD*  
(Dhananjaya Yama Hudha Kumarajati)**

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1].Bose, S., Roy, M., Bandyopadhyay, A., 2012, “Recent Advances in Bone Tissue Engineering Scaffolds”, *Trends Biotechnol*, Vol.30, No.10, hal.546-554.
- [2].Abdelaal, O.A., Darwish, S.M., 2011, “Fabrication of Tissue Engineering Scaffolds Using Rapid Prototyping Technique”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol.59.
- [3].Olszta, MJ., Cheng, X., Jee, SS., Kumar, R., Kim, YY., Kaufman, MJ., Douglass, EP., Gower, LB., 2007, “Bone Structure and Formation: A new Perspective”, *Material Science and Engineering*, Vol.58, No.3-5, hal.77-116
- [4].Feng, P., Wei, P., Shuai, C., Peng, S., 2014, “Characterization of Mechanical and Biological Properties of 3D Scaffold Reinforced with Zinc Oxide for Bone Tissue Engineering”, *PLoS ONE*, Vol.9, No.1, Hal.e87755.
- [5].Daryl L. Logan (2011). *A first course in the finite element method*. Cengage Learning. [ISBN 978-0495668251](#).
- [6].Kalita, S.J., Ferguson, M., 2006, “Fabrication of 3D Porous Mg/Zn doped Tricalcium Phosphate Bone-Scaffold via the Fused Deposition Modeling”, *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, Vol.2, No.2, hal.57-60.