

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b><i>TITLE PAGE</i></b>	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING</b>	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI</b>	iv
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b>	v
<b>KATA PENGANTAR</b>	vi
<b>DAFTAR ISI</b>	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xi
<b>DAFTAR TABEL</b>	xiv
<b>DAFTAR SINGKATAN</b>	xv
<b>INTISARI</b>	xvi
<b><i>ABSTRACT</i></b>	xvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	1
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
1.6. Kebaruan Penelitian	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	6
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	23
3.1. <i>Bone Scaffold</i>	23
3.2. <i>Space Holder Method</i>	25
3.2.1 Proses pencampuran ( <i>mixing process</i> )	26
3.2.2 Proses kompaksi ( <i>compaction process</i> )	27
3.2.3 Proses penghilangan <i>space holder</i> ( <i>space holder removal process</i> )	28

3.2.4 Proses <i>sintering</i>	29
3.3. Model Kompaksi Heckel	29
3.4. Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitas	32
3.5. Tegangan Efektif dan Modulus Elastisitas Efektif	33
3.6. Tekanan Efektif	33
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	<b>35</b>
4.1. Bahan Penelitian	35
4.1.1 <i>Stainless steel 316L</i>	35
4.1.2 <i>Carbamide</i>	35
4.1.3 <i>Polyvinyl alcohol (PVA)</i>	36
4.2. Alat Penelitian	37
4.2.1 Mesin ayak	37
4.2.2 <i>Roller mixer KJMR-II</i>	38
4.2.3 <i>Punch and dies</i>	38
4.2.4 <i>Universal testing machine</i>	39
4.2.5 <i>Digital microscope</i>	40
4.2.6 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	40
4.2.7 <i>Tubular furnace</i>	41
4.3. Prosedur Penelitian	41
4.3.1 Persiapan material	43
4.3.2 Analisa menggunakan model kompaksi Heckel	43
4.3.3 Proses pembuatan spesimen	44
4.3.4 Uji morfologi	46
4.3.5 Uji kompresi ISO 13314	47
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>49</b>
5.1. Karakterisasi Serbuk	49
5.2. Proses Pencampuran	51
5.3. Nilai Tekanan Kompaksi Optimal	51

5.3.1	<i>Load-displacement plots</i>	52
5.3.2	Tekanan kompaksi aktual	53
5.3.3	Energi bersih spesifik	54
5.3.4	Densitas relatif	56
5.3.5	Model kompaksi Heckel	57
5.3.6	Nilai tekanan kompaksi yang disarankan	58
5.4.	Kompaksi Serbuk	60
5.4.1	Densitas <i>green body</i>	60
5.4.2	Morfologi <i>green body</i>	62
5.5.	Proses <i>Leaching</i>	65
5.6.	Proses <i>Sintering</i>	66
5.7.	Morfologi <i>Scaffold</i>	69
5.7.1	Pengamatan struktur makro <i>scaffold</i>	69
5.7.2	Uji <i>scanning electron microscope</i>	71
5.8.	Porositas Akhir <i>Scaffold</i>	74
5.9.	Uji Kompresi ISO 13314	76
5.9.1	<i>Stress-strain diagram scaffold</i>	77
5.9.2	Modulus elastisitas <i>scaffold</i>	80
5.9.3	Hubungan kekuatan mekanis <i>scaffold</i> dengan tulang	81
<b>BAB VI PENUTUP</b>		83
6.1.	Kesimpulan	83
6.1.1	Pengaruh tekanan kompaksi terhadap <i>green body</i> , struktur pori, dan sifat mekanis <i>scaffold</i>	83
6.1.2	Pengaruh fraksi volume <i>space holder</i> terhadap struktur pori dan sifat mekanis <i>scaffold</i>	83
6.2.	Saran	84
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		85

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur pori akhir SS316L berpori menggunakan <i>space holder carbamide</i>	7
Gambar 2.2	Data uji kompresi 316L berpori dan 316L berpori dengan penambahan boron	7
Gambar 2.3	Mikrograf SEM material berpori SS316L (a) 50 wt% (b) 55 wt% (c) 60 wt%	8
Gambar 2.4	Mikrograf FESEM material berpori SS316L (a) dan (b) 45 wt% SS316L suhu 1000 °C (c) dan (d) 40 wt% SS316L suhu 1100 °C (e) dan (f) 45 wt% SS316L suhu 1200 °C	9
Gambar 2.5	Metode gabungan <i>space holder</i> dan <i>layer by layer</i> (a) urutan proses pembentukan pori (b) <i>mesh</i> lingkaran (111) dan <i>mesh</i> persegi (100) (c) struktur pori SS316L akhir	10
Gambar 2.6	Fabrikasi pori bergradasi (a) letak inti, cangkang, dan gradasi ukuran <i>carbamide</i> (b) struktur pori akhir	12
Gambar 2.7	Data hasil uji kompresi dan SEM (a) uji kompresi sampel A1, A2, A3, A4, A5, dan A6 (b) Data hasil uji SEM pengamatan retakan pada sampel A3 dan A5	13
Gambar 2.8	Diagram energi untuk sampel (a) A1, A3, dan A4 (b) A2, A5, dan A6	14
Gambar 2.9	(a) kurva tegangan-regangan dengan perbedaan densitas relatif (b) tegangan <i>yield</i> (c) modulus plastis (d) modulus plastis normal	16
Gambar 2.10	a) kurva tegangan-regangan dengan perbedaan proses <i>removal</i> (b) tegangan <i>yield</i> (c) tegangan <i>plateau</i> (d) <i>energy absorption</i>	17
Gambar 3.1	Ilustrasi Makro Pori, Meso Pori, dan Mikro Pori	23
Gambar 3.2	Skematik proses <i>space holder method</i>	25
Gambar 3.3	Teknik yang umum untuk proses kompaksi <i>scaffold</i> menggunakan <i>space holder method</i> (a) <i>uniaxial die compaction</i> (b) <i>isostatic pressing</i> (c) <i>injection molding</i>	27
Gambar 4.1	Mesin ayak model PSA <i>manufactured by Georg Fischer</i>	37
Gambar 4.2	Roller Mixer KJMR-II <i>machine</i>	38
Gambar 4.3	Geometri <i>dies</i>	39
Gambar 4.4	<i>Universal Testing Machine</i>	39

Gambar 4.5	<i>Digital microscope</i>	40
Gambar 4.6	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	40
Gambar 4.7	<i>Tubular Furnace STA-1700</i>	41
Gambar 4.8	Diagram alir penelitian	42
Gambar 4.9	Grafik laju densifikasi vs tekanan kompaksi	44
Gambar 4.10	Mekanisme alat bantu proses <i>removal</i> SH dengan perendaman	46
Gambar 4.11	Kurva tegangan-regangan material berpori	47
Gambar 4.12	Geometri spesimen uji kompresi standar ISO 13314	48
Gambar 5.1	(a) Bentuk partikel SS316L (b) Bentuk partikel <i>carbamide</i>	49
Gambar 5.2	Distribusi ukuran partikel SS316L	50
Gambar 5.3	Distribusi ukuran partikel <i>carbamide</i>	50
Gambar 5.4	<i>Load-displacement plots</i> SS316L/ <i>carbamide</i>	52
Gambar 5.5	Kurva energi bersih spesifik eksperimen	54
Gambar 5.6	Perbandingan nilai $E_{sp.net}$ eksperimen dan <i>rule of mixture</i>	55
Gambar 5.7	Nilai densitas relatif pada proses kompaksi SS316L/ <i>carbamide</i>	56
Gambar 5.8	Plot data model kompaksi Heckel	57
Gambar 5.9	Perbandingan nilai <i>yield pressure</i> eksperimen dan ROM	60
Gambar 5.10	Nilai densitas <i>green body</i>	61
Gambar 5.11	Morfologi potongan <i>green body</i> x=50% P=300 MPa	63
Gambar 5.12	Morfologi potongan <i>green body</i> x=50% P=400 MPa	64
Gambar 5.13	Sampel <i>green body</i> x 60% setelah <i>leaching</i>	66
Gambar 5.14	Hasil uji DSC/TGA serbuk SS316L	67
Gambar 5.15	Hasil uji DSC/TGA serbuk <i>carbamide</i>	67
Gambar 5.16	Skema proses <i>sintering</i>	68
Gambar 5.17	<i>Scaffold</i> berbagai variasi	70
Gambar 5.18	Hasil uji SEM interkoneksi <i>scaffold</i> P50%-300 MPa	72
Gambar 5.19	Hasil uji SEM interkoneksi <i>scaffold</i> P50%-400 MPa	72

Gambar 5.20	Hasil uji SEM bentuk pori <i>scaffold</i> P50%-300 MPa	73
Gambar 5.21	Hasil uji SEM bentuk pori <i>scaffold</i> P50%-400 MPa	74
Gambar 5.22	Hasil uji SEM <i>sinter neck</i> pada <i>scaffold</i>	74
Gambar 5.23	Porositas akhir <i>scaffold</i>	75
Gambar 5.24	<i>Stress-strain sintered</i> SS316L	77
Gambar 5.25	<i>Stress-strain scaffold</i>	78
Gambar 5.26	Nilai <i>ultimate compressive strength scaffold</i>	79
Gambar 5.27	Nilai modulus elastisitas <i>scaffold</i>	80

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat mekanis SS316L dengan distribusi pori merata lingkaran (111), persegi (100), dan acak	11
Tabel 2.2	Ukuran pori pada bagian inti cangkang	12
Tabel 2.3	<i>Cell size</i> dari struktur pori akhir berbagai densitas	15
Tabel 2.4	Posisi penelitian dalam peta penelitian terdahulu terkait SS316L <i>scaffold</i> dengan metode <i>space holder</i>	19
Tabel 3.1	Sifat mekanis dari tulang	24
Tabel 4.1	<i>Material properties</i> SS316L ASTM A276	35
Tabel 4.2	<i>Carbamide physical and chemical properties</i>	35
Tabel 4.3	<i>Polyvinyl Alcohol physical and chemical properties</i>	36
Tabel 4.4	Ukuran ayakan	37
Tabel 5.1	Berat material dalam campuran	51
Tabel 5.2	Nilai tekanan kompaksi nominal dan aktual	53
Tabel 5.3	Nilai <i>yield pressure</i> (Py) dari campuran SS316L/ <i>carbamide</i>	59
Tabel 5.4	Rasio dimensi spesimen uji	76
Tabel 5.5	Kesimpulan nilai <i>ultimate strength</i> dan <i>modulus elasticity scaffold</i>	82

## DAFTAR SINGKATAN

D	: Densitas relatif
DSC	: <i>Differential Scanning Calorimetry</i>
EDS	: <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>
EP	: <i>Evaporative Process</i>
ER	: <i>Elastic Recovery</i>
FESEM	: <i>Field Emission Scanning Electron Microscope</i>
ISO	: <i>International Organization for Standardization</i>
IUPAC	: <i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
LP	: <i>Leaching Process</i>
OM	: <i>Optical Microscope</i>
P	: <i>Porosity</i>
PEG	: <i>Polyethylene Glycol</i>
PMMA	: <i>Polymethylmethacrylate</i>
PVA	: <i>Polyvinyl Alcohol</i>
SEM	: <i>Scanning Electron Microscope</i>
SH	: <i>Space Holder</i>
SS316L	: <i>Stainless Steel 316L</i>
TGA	: <i>Thermogravimetric Analysis</i>
UHP	: <i>Ultra High Purity</i>
UTM	: <i>Universal Testing Machine</i>
UCS	: <i>Ultimate Compressive Strength</i>
VOL	: Volume
WT	: <i>Weight</i>