

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvii
INTISARI.....	xix
ABSTRACT.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	10
1.3 Batasan Masalah.....	10
1.4 Tujuan Penelitian.....	11
1.5 Manfaat Penelitian.....	12
1.6 Hipotesis Penelitian.....	12
1.7 Kebaharuan Penelitian.....	13
1.8 Sistematika Penulisan.....	14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	16
2.1 Pengembangan Biokeramik Hidroksiapatit dari Bahan Biogenik.....	16
2.2 Biokeramik Hidroksiapatit Terdoping Bioaktif Ion .....	23
2.3 Komposisi Bioaktif Material untuk Rekayasa Jaringan Tulang.....	28
2.4 Pengembangan Perancah Fungsional .....	31
2.5 Posisi Penelitian .....	35
BAB III LANDASAN TEORI.....	40
3.1 Biomaterial .....	40
3.2 Hidroksiapatit .....	44
3.3 Tulang.....	46
3.3.1 Sel tulang .....	48
3.3.2 Remodeling tulang.....	51
3.4 Perancah .....	54
3.4.1 Peran perancah dalam rekayasa jaringan tulang .....	54
3.4.2 Strategi pengembangan perancah .....	58
3.5 Lobster Pasir ( <i>Panulirus homarus</i> ) .....	63
3.6 Polimer .....	66
3.6.1 Polyethylene oxide (PEO).....	66
3.6.2 Polyvinyl alcohol (PVA).....	67
3.6.3 Polyvinylpyrrolidone (PVP) .....	68

3.6.4	Kitosan .....	68
3.6.5	<i>Polycaprolactone</i> (PCL) .....	69
3.7	Biomineralisasi pada <i>Simulated Body Fluid</i> (SBF).....	70
BAB IV METODE PENELITIAN .....		73
4.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	73
4.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	74
4.3	Prosedur Penelitian.....	77
4.3.1	Preparasi cangkang lobster pasir.....	78
4.3.2	Proses dekomposisi cangkang lobster pasir.....	78
4.3.3	Sintesis HA .....	80
4.3.4	Fabrikasi perancah pori.....	82
4.3.5	Fabrikasi perancah nanofiber.....	83
4.3.6	Fabrikasi perancah 3D DIW .....	85
4.3.7	Fabrikasi perancah 3D DLP.....	87
4.4	Karakterisasi Material .....	89
4.4.1	FTIR.....	91
4.4.2	XRD .....	92
4.4.3	SEM-EDX dan TEM .....	95
4.4.4	XRF.....	96
4.4.5	DSC.....	97
4.5	Sifat Mekanis.....	99
4.5.1	<i>Tensile strength</i> (uji tarik).....	99
4.5.2	<i>Compressive strength</i> (uji tekan) .....	100
4.6	Biodegradasi dan Biom mineralisasi .....	103
4.7	<i>In Vitro</i> Eksperimen Sel .....	108
4.7.1	Kultur sel.....	110
4.7.2	Sel adhesi .....	114
4.7.3	Sel proliferasi .....	114
4.7.4	Sel diferensiasi .....	115
4.8	<i>In Vivo</i> Hewan Modeling .....	118
4.8.1	Analisis pencitraan.....	119
4.8.2	Analisis histologi .....	120
4.9	Analisis Data .....	122
4.9.1	Analisis uji <i>in vitro</i> .....	122
4.9.1.1	Persentase viabilitas sel.....	122
4.9.1.2	Kuantisasi gambar <i>fluorescence</i> .....	124
4.9.2	Analisis uji <i>in vivo</i> .....	126
4.9.2.1	Densitas tulang.....	126
4.9.2.2	Pemeriksaan histologis.....	129
4.9.3	Analisis statistik.....	130
4.10	Tentang Kelaikan Etik .....	131
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN .....		133
5.1	Proses Dekomposisi Cangkang Lobster Pasir ( <i>Panulirus homarus</i> ) ...	133
5.2	Biokeramik Hidroksiapatit dari Cangkang Lobster Pasir .....	138

5.3 Perancah Pori dengan Metode <i>Porogen Leaching</i> .....	143
5.3.1 Karakteristik perancah pori.....	143
5.3.2 Viabilitas sel MC3T3E1 .....	149
5.4 Perancah Nanofiber dengan Metode Elektrosponing.....	152
5.4.1 Karakteristik perancah nanofiber.....	152
5.4.2 Sifat mekanis, biomineralisasi, dan biodegradasi.....	157
5.4.3 Respon sel MC3T3E1 .....	165
5.5 Perancah 3D Printing dengan Metode <i>Direct Ink Writing</i> .....	170
5.5.1 Karakteristik perancah 3D printing DIW.....	171
5.5.2 Sifat mekanis, biomineralisasi, dan biodegradasi.....	175
5.5.3 Respon sel BMSCs .....	180
5.6 Perancah 3D printing dengan Metode <i>Digital Light Processing</i> .....	185
5.6.1 Karakteristik perancah 3D printing DLP .....	186
5.6.2 Sifat mekanis, biomineralisasi, dan biodegradasi.....	189
5.6.3 Respon sel BMSCs .....	193
5.6.4 Hewan coba: remodeling tulang femur tikus putih ( <i>Ratus     norvegicus</i> ).....	199
 BAB VI PENUTUP .....	 218
6.1 Kesimpulan .....	218
6.2 Saran.....	220
 DAFTAR PUSTAKA .....	 221
LAMPIRAN.....	236
Lampiran 1. CV dan riwayat peneliti.....	236
Lampiran 2. Perhitungan stoikiometri sintesis hidroksiapatit.....	239
Lampiran 3. Perhitungan komposisi perancah pori.....	240
Lampiran 4. Perhitungan komposisi perancah nanofiber.....	242
Lampiran 5. JCPDS CaCO <sub>3</sub> .....	244
Lampiran 6. JCPDS CaO .....	247
Lampiran 7. JCPDS Ca(OH) <sub>2</sub> .....	249
Lampiran 8. JCPDS β-TCP .....	251
Lampiran 9. JCPDS HA .....	255
Lampiran 10. Surat keterangan kelaikan etik.....	258
Lampiran 11. Analisis statistik hasil penelitian .....	259

## DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul Gambar	Hal
Gambar 1.1	Pengembangan perancah HA dari cangkang lobster pasir.....	8
Gambar 2.1	Klasifikasi bahan biogenik untuk pembuatan hidroksiapatit.....	18
Gambar 2.2	Jenis-jenis dan penjelasan umum metode sintesis HA.....	23
Gambar 2.3	(A) Modifikasi penempatan doping ion pada struktur heksagonal HA. (B) Fungsi dari ion doping pada HA.....	25
Gambar 2.4	Pendekatan strategi komposisi bioaktif material terbaru..	29
Gambar 2.5	Perbandingan hasil bentuk pori perancah HA dengan strategi (A) konvensional dan (B) <i>additive manufacturing</i> .....	31
Gambar 2.6	Perbedaan <i>additive manufacturing</i> 3D printing. (A) 3D printing berbasis ekstruder, (B) 3D printing DLP, (C) SLA, dan (D) teknik binder jet.....	33
Gambar 2.7	Diagram <i>fishbone</i> penelitian disertasi.....	39
Gambar 3.1	Struktur molekul polimer (A) linier, (B) bercabang, (C) <i>crosslinked</i> , dan (D) jaringan.....	41
Gambar 3.2	Struktur heksagonal hidroksiapatit.....	45
Gambar 3.3	Struktur hierarki tulang.....	47
Gambar 3.4	Jenis-jenis sel pada jaringan tulang.....	48
Gambar 3.5	Proses diferensiasi osteogenesis (osteoblastogenesis), <i>growth factor</i> yang terlibat, dan penanda osteoblas.....	51
Gambar 3.6	Perbedaan proses (A) osteoklastogenesis dan (B) osteoblastogenesis.....	52
Gambar 3.7	Proses remodeling tulang.....	53
Gambar 3.8	Proses rekayasa jaringan tulang.....	56
Gambar 3.9	<i>Set-up</i> elektrospinning.....	59
Gambar 3.10	Morfologi lobster pasir.....	64
Gambar 3.11	Struktur dan rumus kimia <i>polyethylene oxide</i> .....	66
Gambar 3.12	Struktur dan rumus kimia <i>polyvinyl alcohol</i> .....	67
Gambar 3.13	Struktur dan rumus kimia <i>polyvinylpyrrolidone</i> .....	68
Gambar 3.14	Struktur dan rumus kimia <i>chitosan</i> .....	69
Gambar 3.15	Struktur molekul <i>polycaprolactone</i> (PCL).....	69
Gambar 3.16	Proses terjadinya biomineralisasi pada larutan SBF dengan bioaktif material.....	72
Gambar 4.1	Tahapan penelitian.....	77

Gambar 4.2	Skematik kerja (A) preparasi dan dekomposisi cangkang lobster pasir dan (B) sintesis HA dari cangkang lobster pasir.....	79
Gambar 4.3	Ilustrasi ringkas pengembangan model perancah berbasis HA dari cangkang lobster pasir; (A) perancah pori dengan metode <i>porogen leaching</i> , (B) perancah nanofiber dengan metode elektrosinning, (C) perancah 3D DIW dengan metode DIW, dan (D) perancah 3D DLP dengan metode DLP.....	82
Gambar 4.4	Ilustrasi pembuatan perancah nanofiber. Mulai dari preparasi hingga pembuatan nanofiber dan uji <i>in vitro</i> .....	84
Gambar 4.5	Ilustrasi pembuatan perancah 3D PCL/HA. Mulai dari preparasi hingga pembuatan 3D PCL/HA metode DIW dan uji <i>in vitro</i> .....	86
Gambar 4.6	Ilustrasi pembuatan perancah 3D HA. Mulai dari preparasi hingga pembuatan 3D HA metode DLP dan uji <i>in vitro</i> .....	89
Gambar 4.7	Difraksi sinar X pada bidang atom.....	93
Gambar 4.8	Nilai FWHM secara geometris pada puncak difraksi.....	94
Gambar 4.9	Skematik penempatan sampel instrumen DSC.....	98
Gambar 4.10	Grafik analisis sifat mekanis material.....	102
Gambar 4.11	Posisi perendaman perancah di dalam larutan SBF menggunakan tabung <i>conical</i> .....	106
Gambar 4.12	Diagram alir proses kultur sel hingga sel bisa digunakan dalam pengujian <i>in vitro</i> .....	109
Gambar 4.13	Perbedaan kondisi sel pada flask T-25 dengan keadaan (A) 10%, (B) 30%, (C) 50%, (D) 70%, dan (E) 90% konfluen.....	111
Gambar 4.14	(A) Penampilan 4 kamar pada hemasitometer yang dapat diamati menggunakan mikroskop inverted dan (B) penampilan pada salah satu kamar di hemasitometer.....	113
Gambar 4.15	Ilustrasi prosedur pembedahan dan pemasangan implan tulang femur tikus ( <i>Ratus norvegicus</i> ).....	119
Gambar 4.16	Contoh ilustrasi penempatan sel pada 24 <i>well plate</i> .....	123
Gambar 4.17	Kolom dialog <i>analyze particle</i> .....	125
Gambar 4.18	Analisis plot 2D dan 3D. (A) <i>Set scale</i> dan (B) <i>surface plotter</i> .....	127
Gambar 4.19	Analisis gambar 3D bone density. (A) kolom dialog “ <i>Import Image Sequence</i> ” dan (B) kolom dialog “ <i>Add</i> ”...	128
Gambar 5.1	Karakterisasi cangkang lobster pasir baik sebelum dan setelah dikalsinasi 600, 800, dan 1000 °C, (A) FTIR, (B) XRD, dan (C) XRF.....	134
Gambar 5.2	Morfologi serbuk cangkang lobster pasir (A) sebelum kalsinasi, setelah kalsinasi (B) 600, (C) 800, dan (D)	137

	1000 °C. (1) Diamati dengan kamera digital, (2) gambar SEM, dan (3) analisis ukuran partikel.....	
Gambar 5.3	Analisis menggunakan (A) XRD dan (B) FTIR pada HA. Analisis termal menggunakan DSC pada (C) cangkang lobster pasir dikalsinasi 1000 °C dan (D) HA.....	139
Gambar 5.4	Analisis dengan SEM-EDX pada HA dari cangkang lobster pasir. (A,B,C) Mapping persebaran ion Mg, P, dan Ca, (D) gabungan, (E,F) morfologi HA, (G) analisis EDX, (H) distribusi ukuran partikel HA, dan (I) morfologi makroskopis dengan kamera digital.....	140
Gambar 5.5	Morfologi partikel HA diamati menggunakan TEM dengan pembesaran (A) 3000× dan (B) 5000×.....	142
Gambar 5.6	Analisis sifat kimia HA/PEO/CS menggunakan (A) FTIR dan (B) XRD.....	143
Gambar 5.7	Morfologi SEM perancah pori HA/PEO/CS (A) 15 wt%, (B) 10 wt%, (C) 5 wt%, dan (D) 0 wt% dengan (1) pembesaran 30-50× untuk melihat makropori, dan (2) pembesaran 3000× untuk mengamati mikropori.....	146
Gambar 5.8	Grafik 3D plot yang menggambarkan porositas pada perancah HA/PEO/CS (A) 5 wt%, (B) 10 wt%, dan (C) 15 wt%.....	147
Gambar 5.9	Pengaruh konsentrasi PEO pada sifat mekanis perancah pori.....	148
Gambar 5.10	(A) Viabilitas sel dan (B) analisis IC <sub>50</sub> pada respon sel MC3T3E1 terhadap perancah pori HA/PEO/CS 15 wt%..	150
Gambar 5.11	Distribusi sel MC3T3E1 setelah diinkubasi selama 24 jam dengan dosis konsentrasi perancah HA/PEO/CS 15 wt% (A) kontrol atau tanpa perlakuan perancah, (B) 23,4375 µg/ml, (C) 93,75 µg/ml dan (D) 375 µg/ml.....	151
Gambar 5.12	Analisis karakteristik nanofiber perancah membran PVA/PVP/CS menggunakan (A) XRD dan (B) FTIR.....	153
Gambar 5.13	(1) Morfologi dan (2) analisis diameter nanofiber PVA/PVP/CS/HA (A) 0, (B) 1, (C) 3, dan (D) 5 wt%.....	154
Gambar 5.14	Pengaruh konsentrasi HA yang terinkorporasi pada nanofiber dan pengaruhnya terhadap diameter nanofiber.....	155
Gambar 5.15	Hasil morfologi TEM nanofiber PVA/PVP/CS/HA (A) 0 wt% dan (B) 5 wt%.....	156
Gambar 5.16	Sifat mekanis pada nanofiber (A) kurva <i>stress</i> dan <i>strain</i> , (B) <i>elongation break</i> , (C) <i>tensile strength</i> , dan (D) <i>modulus young</i> .....	157
Gambar 5.17	Karakteristik nanofiber (A) protein adsorpsi, (B) rasio <i>swelling</i> , dan (C) persentase degradasi.....	160
Gambar 5.18	Morfologi biomineralisasi pada nanofiber setelah direndam pada larutan SBF selama 1, 3, dan 5 hari.....	163

Gambar 5.19	Morfologi biomineralisasi pada nanofiber PVA/PVP/CS/HA 5% (A) pembesaran 1000× dan (B) pembesaran 5000×.....	163
Gambar 5.20	Analisis sifat kimia biomineralisasi apatit pada nanofiber PVA/PVP/CS/HA 5% menggunakan (A) FTIR dan (B) EDX setelah direndam pada larutan SBF selama (1) 1, (2) 3, dan (3) 5 hari.....	164
Gambar 5.21	(A) Persentase sel viabilitas dan (B) jumlah sel adhesi pada nanofiber PVA/PVP/CS/HA 0%, 1%, 3%, dan 5%..	166
Gambar 5.22	Kemampuan adhesi sel MC3T3E1 terhadap nanofiber perancah PVA/PVP/CS/HA setelah dikultur 7 hari.....	167
Gambar 5.23	Analisis uji ALP dan Alizarin red sebagai penanda sel diferensiasi. (A) Aktivitas ALP secara kuantitatif, (B) ALP staining secara kualitatif, (C) Uji alizarin red kuantitatif dan (D) Alizarin red staining. Nanofiber PVA/PVP/CS/HA (1) 0%, (2) 1%, (3) 3%, dan (4) 5%.....	168
Gambar 5.24	(A) Proses pencetakan material perancah 3D printing selapis demi lapis dan (B) perancah 3D yang dihasilkan berdasarkan konsentrasi HA dengan polimer PCL.....	171
Gambar 5.25	Morfologi perancah 3D berdasarkan variasi konsentrasi PCL dan HA yang diamati menggunakan (A) kamera digital, (B) SEM pembesaran 100 × dan (C) SEM pembesaran 30.000 ×.....	173
Gambar 5.26	Morfologi penampang melintang perancah.....	174
Gambar 5.27	Morfologi perancah 3D PCL/HA 50% (A) kamera digital tampak samping, (B) tampak atas, (C) pengamatan menggunakan micro-CT, (D-E) Penampang melintang perancah diamati menggunakan SEM.....	174
Gambar 5.28	Karakteristik perancah 3D PCL/HA dengan analisis menggunakan (A) XRD, (B) FTIR, dan (C) analisis termal DSC.....	175
Gambar 5.29	Proses uji kuat tekan perancah 3D (A) sebelum perancah ditekan dan (B) setelah ditekan.....	176
Gambar 5.30	Sifat mekanis pada perancah 3D PCL/HA: (A) kurva <i>stress vs strain</i> , (B) modulus elastisitas, dan (C) <i>yield strength</i> .....	176
Gambar 5.31	(A) Degradasi perancah 3D PCL/HA dalam larutan tris-HCl selama 28 hari, akumulatif ion (B) Ca <sup>2+</sup> , (C) P, dan (D) Mg <sup>2+</sup> yang dilepas dideteksi menggunakan <i>inductively couple plasma</i> (ICP).....	178
Gambar 5.32	Biomineralisasi pada perancah PCL/HA 50% pada larutan SBF selama 3, 7, dan 14 hari.....	179
Gambar 5.33	Morfologi sel BMSCs pada permukaan perancah 3D PCL/HA yang dikultur selama 7 hari dan diamati menggunakan SEM dan CLSM.....	180

Gambar 5.34	Analisis (A) sel proliferasi CCK-8 sel BMSCs dikultur pada perancah 3D PCL/HA selama 1, 3, dan 7 hari dan (B) sel adhesi selama 7 hari.....	181
Gambar 5.35	Penanda diferensiasi sel osteogenesis pada BMSCs yang dikultur pada perancah 3D PCL/HA: (A,C) Pewarnaan dan aktivitas ALP dan (B,D) Pewarnaan alizarin red serta kuantisasinya setelah sel dikultur pada perancah 3D PCL/HA selama 7 hari.....	183
Gambar 5.36	Morfologi perancah 3D HA dengan perbedaan ukuran pori 500 $\mu\text{m}$ , 250 $\mu\text{m}$ , dan tanpa pori. (A-C) tampak atas, (D-F) penampang melintang yang diamati melalui kamera digital, (G-I) gambar 3D melalui micro-CT.....	186
Gambar 5.37	Karakteristik perancah 3D HA: (A) analisis XRD yang menunjukkan tidak terjadi perubahan fase terhadap partikel HA, (B-C) tampak atas analisis SEM dan (D-E) penampang melintang yang menunjukkan partikel HA membentuk perancah 3D interkoneksi yang baik.....	187
Gambar 5.38	(A) Sifat mekanis perancah 3D dan (B) hubungan porositas dengan sifat mekanis. (C) Kemampuan degradasi pada perancah 3D HA cangkang lobster pasir dibandingkan perancah 3D HA-C yang dikonfirmasi melalui analisis ICP pada pelepasan ion (D) $\text{Ca}^{2+}$ , (E) P dan (F) $\text{Mg}^{2+}$ .....	190
Gambar 5.39	Morfologi biomineralisasi perancah 3D HA setelah direndam pada larutan SBF selama (A,B) 3 hari, (C,D) 7 hari, dan (E,F) 14 hari.....	192
Gambar 5.40	Sel adhesi BMSCs pada perancah 3D HA cangkang lobster pasir dan 3D HA-C setelah dikultur selama 1, 3, dan 7 diamati melalui CLSM. Warna biru menggambarkan inti sel, dan warna hijau menggambarkan rangka sel.....	194
Gambar 5.41	Morfologi sel BMSCs yang dikultur selama 3 hari pada perancah 3D HA cangkang lobster pasir dan 3D HA-C...	194
Gambar 5.42	(A) Sel proliferasi CCK-8 dan (B) jumlah sel adhesi BMSCs selama 1, 3, dan 7 hari kultur pada perancah 3D HA cangkang lobster pasir, perancah 3D HA-C, dan blank.....	195
Gambar 5.43	ALP dan alizarin red sebagai penanda osteogenesis pada sel BMSCs: ALP dan alizarin red pada permukaan (A <sub>1</sub> , B <sub>1</sub> ) perancah 3D HA-C dan (A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> ) 3D HA cangkang lobster pasir. (C) Pewarnaan ALP dan (D) pewarnaan alizarin red di seluruh well. (E) Aktivitas ALP dan (F) alizarin red kuantifikasi.....	198
Gambar 5.44	Proses pemasangan implan perancah pada defek tulang femur tikus putih. (A) Defek tulang sebelum pemasangan implan, (B) setelah pemasangan implan perancah 3D HA	199

Gambar 5.45	Citra defek tulang dan implantasi blank, perancah 3D HA, dan 3D HA-C pada tulang femur tikus putih selama (A) 2 dan (B) 6 minggu, diamati menggunakan kamera digital, radiografi x-ray, dan micro-CT.....	200
Gambar 5.46	Analisis plot grafik 3D dan 2D dari citra radiografi x-ray pada defek tulang femur tikus. (A) 2 minggu dan (B) 6 minggu.....	203
Gambar 5.47	Kedalaman intensitas <i>gray value</i> citra radiografi x-ray tulang femur tikus yang memberi gambaran kedalaman defek tulang secara 2D.....	204
Gambar 5.48	Analisis mico-CT: (A) rasio volume <i>newly formed bone volume to volume defect total</i> (BV/VT) dan (B) peningkatan BV/TV dari minggu ke 2 hingga ke 6.....	205
Gambar 5.49	Analisis histologis pewarnaan malori pada defek tulang femur tikus putih selama 2 minggu. (A) 3D HA, (B) 3D HA-C, dan (C) blank dengan pembesaran (1) 10× dan (2) 40×.....	206
Gambar 5.50	Analisis histologis pewarnaan malori pada defek tulang femur tikus putih selama 6 minggu. (A) 3D HA, (B) 3D HA-C, dan (C) blank dengan pembesaran (1) 10× dan (2) 40×.....	207
Gambar 5.51	Analisis kuantitatif (A) pembentukan kolagen pada histologis pewarnaan malori berdasarkan persentase luas kolagen dan (B) peningkatan kolagen pada minggu ke 2 menuju minggu ke 6.....	208
Gambar 5.52	Analisis histologis pewarnaan HE pada defek tulang femur tikus putih selama 2 minggu. (A) Blank, (B) 3D HA-C, dan (C) 3D HA dengan pembesaran (1) 10× dan (2) 40×.....	210
Gambar 5.53	Analisis histologis pewarnaan HE pada defek tulang femur tikus putih selama 6 minggu. (A) Blank, (B) 3D HA-C, dan (C) 3D HA dengan pembesaran (1) 10× dan (2) 40×.....	213
Gambar 5.54	Analisis kuantitatif (A) jumlah sel osteoblas pada histologis pewarnaan HE dan (B) peningkatan jumlah osteoblas pada minggu ke 2 menuju minggu ke 6.....	214
Gambar 5.55	Proses tahapan sel diferensiasi osteogenesis.....	216

## DAFTAR TABEL

<b>No. Tabel</b>	<b>Judul Tabel</b>	<b>Hal</b>
Tabel 2.1	Perkembangan bahan biogenik sebagai sumber kalsium...	18
Tabel 2.2	Doping ion terhadap struktur HA dan efek aktivitas biologisnya.....	26
Tabel 2.3	Studi modifikasi penambahan ion pendoping bioaktivitas HA .....	27
Tabel 2.4	Biokompatibel polimer .....	30
Tabel 2.5	Metode sintesis perancah secara konvensional.....	31
Tabel 2.6	Metode sintesis perancah dengan <i>additive manufacturing</i> .....	34
Tabel 3.1	Perbedaan berbagai jenis biomaterial.....	43
Tabel 3.2	Jenis kalsium fosfat.....	44
Tabel 3.3	Perbandingan komposisi email, gigi, tulang, dan hidroksiapatit.....	45
Tabel 3.4	Kandungan mineral anorganik tulang.....	46
Tabel 3.5	Sifat-sifat mekanis tulang.....	46
Tabel 3.6	Distribusi ukuran perancah pori dan fungsinya pada rekayasa jaringan tulang.....	59
Tabel 3.7	Perbandingan metode konvensional dan <i>additive manufacturing</i> dalam proses pembuatan perancah.....	61
Tabel 3.8	Perbandingan konsentrasi ion SBF dan plasma darah manusia.....	71
Tabel 4.1	Tempat penelitian.....	73
Tabel 4.2	Parameter sampel perancah pori.....	83
Tabel 4.3	Parameter sampel perancah nanofiber.....	85
Tabel 4.4	Parameter sampel perancah 3D DIW.....	87
Tabel 4.5	Karakterisasi dasar <i>physicochemical</i> pada sampel.....	91
Tabel 4.6	Referensi bilangan gelombang FTIR pada bahan dasar....	92
Tabel 4.7	<i>Databased</i> pada fase puncak XRD pada bahan dasar.....	93
Tabel 4.8	Uji sifat mekanis pada sampel.....	103
Tabel 4.9	Urutan dan konsentrasi pembuatan larutan SBF .....	105
Tabel 4.10	Parameter karakterisasi biodegradasi dan biomineralisasi	107
Tabel 4.11	Parameter eksperimen sel pada semua perancah.....	117
Tabel 5.1	Hasil analisis unsur pada serbuk cangkang lobster pasir sebelum dan setelah kalsinasi.....	135
Tabel 5.2	Analisis XRD cangkang lobster pasir sebelum dan setekah kalsinasi.....	136
Tabel 5.3	Analisis struktur kristal perancah pori.....	144

Tabel 5.4	Ukuran pori dan porositas perancah.....	147
Tabel 5.5	Persentase sel viabilitas MC3T3E1 terhadap konsentrasi dosis perancah HA/PEO/CS.....	150
Tabel 5.6	Sifat mekanis pada nanofiber perancah.....	158
Tabel 5.7	Hasil uji perancah nanofiber terhadap sel MC3T3E1 .....	169
Tabel 5.8	Akumulasi degradasi dan ion release 3D PCL/HA selama 28 hari.....	179
Tabel 5.9	Akumulatif degradasi dan ion release 3D HA selama 28 hari.....	191