

KARAKTERISTIK KOMPOSIT *SILVER-HYDROXYAPATITE/POLYVINYL ALCOHOL* SEBAGAI INJECTABLE BONE SUBSTITUTE UNTUK PERBAIKAN FRAKTUR TULANG

ALPANDI MULYANA PUTRA



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Karakteristik Komposit *Silver-Hydroxyapatite/Polyvinyl Alcohol* sebagai *Injectable Bone Substitute* untuk Perbaikan Fraktur Tulang” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Januari 2025

Alpandi Mulyana Putra
G7401201053

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRAK

ALPANDI MULYANA PUTRA. Karakteristik Komposit *Silver-Hydroxyapatite/Polyvinyl Alcohol* sebagai *Injectable Bone Substitute* untuk Perbaikan Fraktur Tulang. Dibimbing oleh YESSIE WIDYA SARI dan YULIATI HERBANI.

Injectable bone substitute (IBS) telah banyak diteliti karena kemampuannya menyesuaikan dengan berbagai bentuk kerusakan tulang, mengisi area yang rusak, serta meniru komposisi tulang alami. Penelitian ini bertujuan untuk mempersiapkan dan mengkarakterisasi IBS berbahan hidroksiapatit (HAp) dari cangkang telur, yang diinkorporasi dengan perak (Ag) melalui metode wet precipitation dan dikompositkan dengan *polyvinyl alcohol* (PVA). Sifat fisik pasta IBS dianalisis, dengan pembentukan AgHAp dikonfirmasi melalui XRD dan SEM-EDX yang menunjukkan rasio atom $Ca+Ag/P = 1,61$ serta morfologi partikel yang beragam. Akan tetapi, inkorporasi perak ke dalam struktur HAp belum dapat dipastikan. Pasta IBS yang dihasilkan menunjukkan penurunan viskositas seiring penambahan PVA 15% dan injektabilitas yang tinggi ($>90\%$), yang dipengaruhi oleh rasio AgHAp dan volume injeksi. *Setting time* meningkat seiring penambahan PVA karena peningkatan fasa cair, serta resistensi terhadap *washing out* dalam larutan PBS juga meningkat pada rasio AgHAp yang lebih tinggi. IBS ini juga menunjukkan potensi aktivitas antibakteri terhadap *E. coli* yang disebabkan oleh keberadaan ion perak.

ABSTRACT

ALPANDI MULYANA PUTRA. Characteristics of Silver-Hydroxyapatite/Polyvinyl Alcohol Composite as an Injectable Bone Substitute for Bone Fracture Repair. Supervised by YESSIE WIDYA SARI and YULIATI HERBANI.

Injectable bone substitute (IBS) has been extensively studied due to its ability to adapt to various bone defects, fill damaged areas, and mimic natural bone composition. This study aims to prepare and characterize IBS based on hydroxyapatite (HAp) derived from eggshells, incorporated with silver (Ag) through a wet precipitation method, and combined with polyvinyl alcohol (PVA). The physical properties of the IBS paste were analyzed, with AgHAp formation confirmed by XRD and SEM-EDX, showing a $Ca+Ag/P$ atomic ratio of 1.61 and diverse particle morphology. However, the incorporation of silver into the HAp structure cannot yet be confirmed. The resulting IBS paste showed a decrease in viscosity with the addition of 15% PVA and high injectability ($>90\%$), influenced by the AgHAp ratio and injection volume. The setting time increased with the addition of PVA due to an increased liquid phase, while resistance to washing out in phosphate-buffered saline (PBS) also improved at higher AgHAp ratios. This IBS also demonstrated potential antibacterial activity against *E. coli* due to the presence of silver ions.

Kata kunci: biomaterial, regenerasi tulang, kalsium fosfat, pengisi tulang
Keywords: biomaterial, bone regeneration, calcium phosphate, bone filler

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

KARAKTERISTIK KOMPOSIT *SILVER-HYDROXYAPATITE/POLYVINYL ALCOHOL* SEBAGAI *INJECTABLE BONE SUBSTITUTE* UNTUK PERBAIKAN FRAKTUR TULANG

ALPANDI MULYANA PUTRA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Dr. Mersi Kurniati, M.Si.
- 2 Prof. Dr. Ir. Irzaman, M.Si.





@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Skripsi : Karakteristik Komposit *Silver-Hydroxyapatite/Polyvinyl Alcohol*
sebagai *Injectable Bone Substitute* untuk Perbaikan Fraktur
Tulang
Nama : Alpandi Mulyana Putra
NIM : G7401201053

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Yessie Widya Sari, M.Si.
NIP. 19800414 201212 2 004
Pembimbing 2:
Dr. Yuliati Herbani, M.Sc.
NIP. 19790716 200212 2 008



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:
Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada WP, S.Si., M.Si.
NIP. 19720519 199702 1 001



Tanggal Ujian:
15 Januari 2025

Tanggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2024 sampai bulan Juni 2024 ini ialah biomaterial, dengan judul “Karakteristik Komposit *Silver-Hydroxyapatite/Polyvinyl Alcohol* sebagai *Injectable Bone Substitute* untuk Perbaikan Fraktur Tulang”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing yaitu Ibu Dr. Yessie Widya Sari, M.Si. sebagai pembimbing 1 dan Ibu Dr. Yuliati Herbani, M.Si. sebagai pembimbing 2 yang telah membimbing, memberikan saran, serta memberikan dukungan penuh kepada penulis untuk menyelesaikan usulan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah memberikan bantuan riset tugas akhir melalui program BARISTA (Bantuan Riset bagi Talenta Riset dan Inovasi), serta Ibu Dr. Yuliati Herbani, M.Si. yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Tak luput juga teman-teman Fisika IPB angkatan 57, sahabat-sahabat KKN Desa Palasari terutama Lalyta Putri Ardelia, alumni Fisika IPB terutama Angga Saputra, staf Laboratorium Departemen Fisika, serta seluruh civitas akademika Fisika IPB yang selalu memberikan perhatian, dorongan dan motivasi yang menjadi salah satu sumber semangat bagi penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Januari 2025

Alpandi Mulyana Putra

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Injectable Bone Substitute (IBS)</i>	3
2.2 Hidroksiapatit Sebagai Biomaterial	3
2.3 Nanopartikel Perak (AgNPs)	4
2.4 <i>Polyvinyl Alcohol (PVA)</i>	5
III METODE	6
3.1 Waktu dan Tempat	6
3.2 Alat dan Bahan	6
3.3 Prosedur Kerja	6
3.4 Analisis Data	9
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	10
4.1 Hasil Karakterisasi Sintesis AgHAp	10
4.2 Hasil Uji dan Karakterisasi <i>Injectable Bone Substitute</i>	12
V SIMPULAN DAN SARAN	21
5.1 Simpulan	21
5.2 Saran	21
DAFTAR PUSTAKA	22
RIWAYAT HIDUP	26

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

1	Tabel 1 Proporsi kombinasi AgHAp/PVA	7
2	Tabel 2 Parameter XRD HAp dan AgHAp dihitung untuk puncak utama (002)	11
3	Tabel 3 Persentase persen berat dan atom tiap elemen dari AgHAp melalui analisis EDX	12

DAFTAR GAMBAR

4	Gambar 1 Sifat ideal dari <i>Injectable Bone Substitute</i> (Demir-Oğuz <i>et al.</i> 2023)	3
5	Gambar 2 Sifat mekanik dari 3D-printed scaffold. (A) Kurva <i>stress-strain scaffold</i> ; (B) Modulus Young <i>scaffold</i> (Chen <i>et al.</i> 2023)	5
6	Gambar 3 Pola difraksi XRD AgHAp dan HAp	10
7	Gambar 4 SEM mikrograf (A); dan analisis EDX (B) AgHAp dengan perbesaran 10000x	12
8	Gambar 5 Grafik perbandingan viskositas IBS pada sampel AgHAp:PVA (A) Kontrol (100:0); B (75:25); C (50:50); dan D (25:75)	13
9	Gambar 6 Grafik perbandingan persentase injektabilitas semen IBS pada sampel AgHAp:PVA Kontrol (100:0); B (75:25); C (50:50); dan D (25:75)	15
10	Gambar 7 Grafik perbandingan <i>setting time</i> IBS pada sampel AgHAp:PVA (A) Kontrol (100:0); B (75:25); C (50:50); dan D (25:75)	16
11	Gambar 8 Gambar digital dari pasta IBS AgHAp:PVA (A) Kontrol (100:0); B (75:25); C (50:50); dan D (25:75) setelah diinjeksikan.	17
12	Gambar 9 Gambar digital dari masing-masing pasta IBS sebelum (A, B, C, D) dan setelah (E, F, G, H) direndam larutan PBS (<i>phosphate buffered saline</i>) selama 30 menit	18
13	Gambar 10 Grafik perbandingan persentase <i>washout</i> IBS pada sampel AgHAp:PVA (A) Kontrol (100:0); B (75:25); C (50:50); dan D (25:75)	18
14	Gambar 11 Aktivitas antibakteri pasta IBS dengan perbandingan AgHAp:PVA 75:25 terhadap bakteri <i>E. coli</i> (a); dan <i>S. aureus</i> (b).	20

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.