SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROKSIAPATIT DARI BINTANG LAUT TANDUK (Protoreaster nodosus) DAN
APLIKASINYA SEBAGAI LAPISAN TITANIUM DENGAN METODE PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION
Muhammad Zia Hilal Zulfa, Prof. Dr. Eng. Yusril Yusuf, S.Si., M. Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN i
PERNYATAAN ii
PRAKATA iii
DAFTAR ISI v
DAFTAR GAMBAR vi
DAFTAR TABEL x
INTISARI xi
ABSTRACT xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Batasan Masalah 5
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 6
1.6 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 8
BAB III LANDASAN TEORI 18
3.1 Tulang 18
3.2 Implan 19
3.3 Hidroksiapatit (HA) 20
3.4 Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) 22

SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROKSIAPATIT DARI BINTANG LAUT TANDUK (Protoreaster nodosus) DAN
APLIKASINYA SEBAGAI LAPISAN TITANIUM DENGAN METODE PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION
Muhammad Zia Hilal Zulfa, Prof. Dr. Eng. Yusril Yusuf, S.Si., M. Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.5 Bintang Luat Tanduk (*prototreaster nodosus*) 24
3.6 *Plasma Electrolitic Oxidation* (PEO) 25
3.7 Metode Karakterisasi Material 28
3.7.1 *X-Ray Diffractometer* (XRD) 28
3.7.2 *Fourier Transform Infrared* (FTIR) 29
3.7.3 *Scanning Electron Microscope* (SEM) 30
3.7.4 Uji *Microhardness* 31
3.7.5 Uji Antibakteri 32
BAB IV METODE PENELITIAN 34
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian 34
4.2 Alat dan Bahan Penelitian 34
4.3 Skema Penelitian dan Kode Sampel 36
4.4 Prosedur Penelitian 37
4.4.1 Pembuatan $Ca(OH)_2$ dari tulang bintang laut 37
4.4.2 Sintesis HA dari Bintang Laut 37
4.4.3 Pembuatan Sampel Titanium 37
4.4.4 Pembuatan larutan PEO 38
4.4.5 Variasi *coating* menggunakan metode PEO 38
4.4.6 Karakterisasi Menggunakan XRD 38
4.4.7 Karakterisasi Menggunakan FTIR 39
4.4.8 Karakterisasi Menggunakan SEM/EDX 40
4.4.9 Uji *Microhardness* 40
4.4.10 Uji Antibakteri 41
BAB V PEMBAHASAN 42

SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROKSIAPATIT DARI BINTANG LAUT TANDUK (Protoreaster nodosus) DAN
APLIKASINYA SEBAGAI LAPISAN TITANIUM DENGAN METODE PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION
Muhammad Zia Hilal Zulfa, Prof. Dr. Eng. Yusril Yusuf, S.Si., M. Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1 Hasil Karakterisasi $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$, dan HA 42
5.1.1 XRD 42
5.1.2 FTIR 44
5.1.3 SEM/EDX 46
5.2 Hasil Karakterisasi Ti-6Al-4V yang Dilapisi dengan HA 49
5.2.1 XRD 49
5.2.2 FTIR 51
5.2.3 SEM/EDX 53
5.2.4 Uji *Microhardness* 60
5.2.5 Uji Antibakteri 62
BAB IV KESIMPULAN 63
6.1 Kesimpulan.....63
6.2 Saran.....63
DAFTAR PUSTAKA 65
LAMPIRAN.....79

SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROKSIAPATIT DARI BINTANG LAUT TANDUK (Protoreaster nodosus) DAN
APLIKASINYA SEBAGAI LAPISAN TITANIUM DENGAN METODE PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION
Muhammad Zia Hilal Zulfa, Prof. Dr. Eng. Yusril Yusuf, S.Si., M. Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hasil XRD pada HA-TiAl (Salahshouri *et al*., 2022) 9
Gambar 2.2 Spektrum EDS lapisan hasil proses PEO pada berbagai tegangan (Salahshouri *et al*., 2022) 10
Gambar 2.3 Permukaan hasil SEM (perbesaran 1000×) dari lapisan yang terbentuk pada berbagai tegangan yang diterapkan: (a) 350 V, (b) 400 V, (c) 450 V, dan (d) 500 V, dengan waktu perlakuan selama 10 menit. (Montazeri *et al*. 2018) 11
Gambar 2.4 Permukaan hasil SEM (pembesaran 1000×) dari lapisan yang dibentuk pada tegangan 500 V dengan waktu perlakuan: (a) 5 menit, (b) 10 menit, (c) 15 menit, dan (d) 20 menit. (Montazeri *et al*. 2018) 12
Gambar 2.5 Penampang hasil SEM (pembesaran 1500×) dari lapisan yang dibentuk pada tegangan 500 V dengan waktu perlakuan: (a) 5 menit, (b) 10 menit, (c) 15 menit, dan (d) 20 menit. (Montazeri *et al*. 2018) .....
Gambar 2.6 Microhardness dan modulus elastisitas dari lapisan hasil PEO. (Sagidugumar *et al*., 2024) 14
Gambar 3.1 Tingkat struktur tulang dari skala makro hingga subnanometer (Koju *et al*., 2022) 18
Gambar 3.2 Contoh penerapan implan pada tubuh manusia (Gautam *et al*., 2022) 20
Gambar 3.3 (a) Struktur kristal kisi HA dengan situs Ca dan ion substitusi (b dan c) struktur HA sepanjang sumbu-c (Ressler *et al*., 2021) 21
Gambar 3.4 Struktur mikro Ti-6Al-4V menunjukkan fase α dan β (Rack & Qazi, 2006) 22
Gambar 3.5 (a) Foto P. nodosus hidup. (b) Kerangka P. nodosus setelah jaringan lunak permukaannya dihilangkan (tampak aboral). (c) Rekonstruksi μ-CT (Yang *et al*., 2022) 24
Gambar 3.6 Diagram skema PEO. (Sagidugumar *et al*., 2024) 25
Gambar 3.7 Ilustrasi Proses PEO (Luo *et al*., 2019) 26
Gambar 3.8 Skema pembentukan kalsium dan fosfor pada lapisan PEO selama proses PEO. (Luo *et al*., 2019) 27
Gambar 3.9 (a) hamburan sinar X (b), derivasi geometri menggunakan teorema

SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROKSIAPATIT DARI BINTANG LAUT TANDUK (Protoreaster nodosus) DAN
APLIKASINYA SEBAGAI LAPISAN TITANIUM DENGAN METODE PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION
Muhammad Zia Hilal Zulfa, Prof. Dr. Eng. Yusril Yusuf, S.Si., M. Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pythagoras (Ali *et al*, 2022) 28
Gambar 3.10 Ilustrasi cara kerja FTIR dan jenis-jenis vibrasi (Muchaamba & Stephan, 2024) 30
Gambar 3.11 Ilustrasi prinsip kerja Scanning Electron Microscope (SEM) (Kumar *et al*., 2023a) 31
Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian 37
Gambar 4.2 Contoh pola difraksi XRD (Luo *et al*., 2019) 39
Gambar 5.1 Pola difraksi XRD HA, $Ca(OH)_2$, dan $CaCO_3$ 43
Gambar 5.2 Spektrum FTIR $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$, dan HA 45
Gambar 5.3 Mikrograf SEM pada perbesaran 10.000× untuk sampel: (a) HA, (b) $Ca(OH)_2$, dan (c) $CaCO_3$. 47
Gambar 5.4 Grafik distribusi ukuran partikel pada sampel (a) HA, (b) $Ca(OH)_2$, (c) $CaCO_3$, dan (d) perbandingan ukuran partikel tiap sampel 48
Gambar 5.5 Hasil EDX HA dari Bintang Laut Tanduk 49
Gambar 5.6 Pola XRD sampel sebelum dan sesudah PEO 50
Gambar 5.7 Spektrum FTIR sampel TI/HA 52
Gambar 5.8 Morfologi Permukaan Lapisan PEO Berdasarkan Analisis SEM dengan Perbesaran x1000 55
Gambar 5.9 Distribusi Log-Normal Ukuran Pori 56
Gambar 5.10 Grafik Porositas Tiga Dimensi Lapisan PEO Berbasis Analisis Tekstur Permukaan 57
Gambar 5.11 Ketebalan Lapisan PEO 58
Gambar 5.12 Nilai Microhardness Lapisan PEO pada Berbagai Parameter 60
Gambar 5.13 Hasil Uji Antibakteri Zona Inhibisi dengan *S.Aureus* 62

SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROKSIAPATIT DARI BINTANG LAUT TANDUK (Protoreaster nodosus) DAN
APLIKASINYA SEBAGAI LAPISAN TITANIUM DENGAN METODE PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION
Muhammad Zia Hilal Zulfa, Prof. Dr. Eng. Yusril Yusuf, S.Si., M. Eng
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Sifat Mekanik dan Fisik Paduan Ti-6Al-4V 23
Tabel 4.1 Kode Sampel yang Digunakan 37
Tabel 5.1Parameter Kisi dan Rasio c/a untuk $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$, dan HA..... 44
Tabel 5.2 Identifikasi pita serapan spektrum FTIR lapisan PEO 53
Tabel 5.3 Hasil karakterisasi morfologi tampang lintang dan permukaan lapisan PEO59
Tabel 5.4 Komposisi Elemental Permukaan Berdasarkan Analisis EDX 59