

**ANALISIS PENGARUH TEKNIK SINTERING TERHADAP DENSIFIKASI
HIDROKSIAPATIT DAN SIFAT MEKANISNYA**



MUHAMMAD BAYU RACHMADTULLAH
NIM: 41320010044

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCUBUANA

JAKARTA 2024

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH TEKNIK SINTERING TERHADAP DENSIFIKASI
HIDROKSIAPATIT DAN SIFAT MEKANISNYA



Disusun Oleh:

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Nama : Muhammad Bayu Rachmadtullah

Nim : 41320010044

Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)

JUNI 2024

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Bayu Rachmadtullah
Nim : 41320010044
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Laporan Skripsi : Analisis Pengaruh Teknik Sintering Terhadap Densifikasi Hidroksiapatit Dan Sifat Mekanisnya

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Pembimbing : Alfian Noviyanto, Ph.D


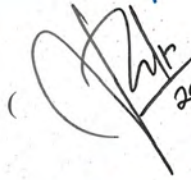

NIDN : 0319117906

Penguji 1 : Nur Indah, S. S.T., M.T

NIDN : 0313038001

Penguji 2 : Gilang Awan Yudhistira, ST, MT

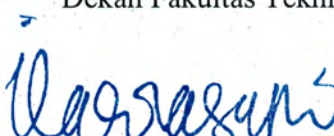
NIDN : 0320029602

()
( 29 Juni 2024)
()

Jakarta, 26 Juni 2024

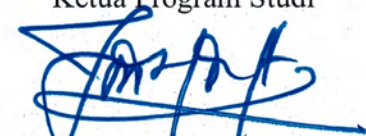
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

()
Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, S.TP, MT

NIDN : 0307037202

Ketua Program Studi

()
Dr.Eng. Imam Hidayat, ST., MT.

NIDN : 0005087502

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Muhammad Bayu Rachmadtullah
Nim : 41320010044
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH TEKNIK SINTERING
TERHADAP DENSIFIKASI HIDROKSIAPATIT
DAN SIFAT MEKANISNYA

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 26 Juni 2024



Muhammad Bayu Rachmadtullah

PENGHARGAAN

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, Karena atas berkat anugrah dan tuntunannya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“ANALISIS PENGARUH TEKNIK SINTERING TERHADAP DENSIFIKASI HIDROKSIAPATIT DAN SIFAT MEKANISNYA”** dengan begitu baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.

Dalam proses ini Penulis menyadari bahwa ada keterbatasan dan kemampuan dalam penyusunan skripsi ini. dalam proses penulisan skripsi ini penulis memperoleh bantuan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak, sehingga skripsi ini dapat selesai walaupun masih terdapat beberapa kekurangan dan keterbatasan dari penulis sendiri. Maka penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Andi Adriansyah selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Ibu Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, S.TP., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Bapak Dr. Eng. Imam Hidayat, ST., MT. selaku Kepala Program Studi Fakultas Teknik Mesin Universitas Mercu Buana Jakarta.
4. Bapak Gilang Awan Yudhistira, ST., MT. selaku Koordinator Tugas Akhir Universitas Mercu Buana.
5. Bapak Gian Villany Golwa, S.T., M.Si. selaku Kepala Laboratorium Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
6. Bapak Alfian Noviyanto S.TP., MT. PhD. selaku Dosen pembimbing yang sudah mengarahkan dan membimbing dalam penelitian ini.
7. Kepada kedua orang tua saya, Alm bapak Samiyanto dan Ibu Sulastri, kakak-kakak saya Susilo Setioko, Rini Setiowati, Bambang Prasetio, Putri Nursetiowati, Ninda Nur Setiowati yang selalu mendoakan, menyemangati, mensupport untuk kesuksesan Tugas Akhir.
8. Kepada perempuan saya Arira Sukma Mardya yang selalu memberikan motivasi, semangat, cinta dan do'a.

9. Teman-teman mahasiswa Jurusan Teknik Mesin angkatan 2020 Universitas Mercu Buana, Ardi Bustomi dan Basalius Simamora yang selalu memberikan motivasi dan semangat dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
10. Kepada Pak Akmal, Mas Gugus, Mas Bagas, Mba Ratih, Mas Fahroji, dan Mas Farid yang selalu membantu untuk keberhasilan pengujian dalam penelitian ini.
11. Pihak perpustakaan yang telah memberikan akses kepada penulis untuk dapat melihat referensi penelitian terdahulu.
12. Seluruh dosen pengajar khususnya Dosen Teknik Mesin Universitas Mercu Buana yang telah memberikan ilmunya kepada penulis sehingga penulis dapat kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Masih banyak lagi pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak disebutkan satu persatu namun tidak mengurangi rasa hormat dan terima kasih penulis.



Jakarta, 26 Juni 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Muhammad Bayu Rachmadtullah'.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA
Muhammad Bayu Rachmadtullah

ABSTRAK

Hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, HA) adalah bahan biokeramik yang banyak digunakan dalam aplikasi biomedis. Penelitian ini membandingkan pengaruh teknik sintering konvensional dan *two-step sintering* terhadap densifikasi dan sifat mekanik HA. Serbuk HA dibentuk menjadi pellet dan disintering konvensional pada 800, 900, 1000, dan 1100°C selama 2 jam, serta dengan *two-step sintering* pada 1000°C - 800°C dan 1000°C - 900°C masing-masing selama 2 dan 5 jam. Densitas, kekuatan mekanik (*Vickers Microhardness*), *XRD*, dan struktur mikro (*Raman Microscope*) diuji. Teknik *two-step sintering* meningkatkan densitas dari 2,5231 g/cm³ menjadi 2,8378 g/cm³ dan kekerasan dari 86,87 kg/mm² menjadi 102,913 kg/mm² pada temperatur tahan 800°C. *XRD* menunjukkan fasa HA dengan sedikit pengotor β -TCP. Teknik *two-step sintering* menghasilkan butir HA yang lebih halus dan homogen, menunjukkan peningkatan sifat mekanik dan mikrostruktur HA dibandingkan teknik sintering konvensional.

Kata Kunci : Hidroksiapatit, Sintering, Densitas, Uji Kekerasan, Struktur Mikro

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

ANALYSIS THE EFFECT OF SINTERING TECHNIQUES ON DENSIFICATION OF HYDROXYAPATITE AND MECHANICAL PROPERTIES

ABSTRACT

Hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, HA) is a bioceramic material used in biomedical applications. This study compares the effects of conventional sintering and two-step sintering techniques on the densification and mechanical properties of HA. HA powder was formed into pellets and sintered conventionally at 800, 900, 1000, and 1100°C for 2 hours, as well as using two-step sintering at 1000°C - 800°C and 1000°C - 900°C for 2 and 5 hours, respectively. Density, mechanical strength (Vickers Microhardness), XRD, and microstructure (Raman Microscope) were tested. The two-step sintering technique increased the density from 2.5231 g/cm³ to 2.8378 g/cm³ and hardness from 86.87 kg/mm² to 102.913 kg/mm² at a holding temperature of 800°C. XRD showed the HA phase with slight β -TCP impurities. The two-step sintering technique produced finer and more homogeneous HA grains, indicating improved mechanical properties and microstructure of HA compared to conventional sintering techniques.

Keywords : Hydroxyapatite, Sintering, Density, Hardness Test, Microstructure

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN, SIMBOL, DAN ISTILAH	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	4
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	6
2.2. BIOMATERIAL	11
2.2.1. Biomaterial Keramik (Biokeramik)	12
2.2.2. Biomaterial Polimer (Biopolimer)	13
2.2.3. Biomaterial Komposit (Biokomposit)	13
2.2.4. Biomaterial Logam (Biologam)	14
2.3. HIDROKSIAPATIT	15
2.4. SINTERING	16

2.4.1.	Teori Sintering	17
2.4.2.	Sintering Berdasarkan Tungku	18
2.4.3.	Teknik Sintering	19
2.5.	KARAKTERISASI HIDROKSIAPATIT	20
2.5.1.	X-Ray Diffraction (XRD)	20
2.5.2.	<i>Raman Microscopy</i>	22
2.6.	PENGUJIAN DENSITAS	23
2.7.	PENGUJIAN KEKERASAN	24
2.7.1.	Metode Gores	24
2.7.2.	Metode Elastik/Pantul	25
2.7.3.	Metode Indensitasi	25
BAB III METODE PENELITIAN		29
3.1.	DIAGRAM ALIR PENELITIAN	29
3.2.	WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN	30
3.3.	BAHAN YANG DIGUNAKAN	30
3.4.	ALAT YANG DIGUNAKAN	31
3.5.	PROSEDUR PENELITIAN	34
3.5.1.	Survei Lapangan dan Studi Pustaka	34
3.5.2.	Persiapan Bahan dan Alat	34
3.5.3.	Proses Sintering	35
3.5.4.	Pengujian dan Pengolahan Data	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1.	PREPARASI SERBUK MENJADI PELLET	43
4.2.	KARAKTERISASI SAMPEL HA	45
4.2.1.	Karakterisasi Menggunakan Densitometer Hidrostatik	45
4.2.2.	Karakterisasi Menggunakan <i>Vickers Microhardness</i>	53
4.2.3.	Karakterisasi Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i>	56

4.2.4. Karakterisasi Menggunakan <i>Raman Microscopy</i>	60
BAB V PENUTUP	62
5.1. KESIMPULAN	62
5.2. SARAN	63
DAFTAR PUSTAKA	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Kristal Hidroksiapatit	15
Gambar 2.2. Struktur HA Heksagonal dan Struktur HA Monoklinik	16
Gambar 2.3. (a) <i>Pressureless sintering</i> (b) <i>pressure-assisted sintering</i>	19
Gambar 2.4. Komponen-komponen XRD	21
Gambar 2.5. Prinsip kerja XRD	22
Gambar 2.6. Prinsip kerja <i>Raman Microscopy</i>	23
Gambar 2.7. Skematis prinsip indentasi dengan metode <i>Brinell</i>	25
Gambar 2.8. Skema dari uji Vickers	28
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2. Serbuk HA Cangkang Kepiting	31
Gambar 3.3. Aquades	31
Gambar 3.4. Timbangan Digital	32
Gambar 3.5. Oven Laboratorium	32
Gambar 3.6. <i>Ordinary Cylindrical Die</i>	33
Gambar 3.7. Kompaksi	33
Gambar 3.8. <i>Furnace</i>	34
Gambar 3.9. <i>X-Ray Diffraction</i>	36
Gambar 3.10. <i>Raman Microscopy</i>	37
Gambar 3.11. Densitometer Hidrostatik	38
Gambar 3.12. <i>Vickers Hardness</i>	41
Gambar 4.1. Pelet Hasil Kompaksi	43
Gambar 4.2. (a) Proses Konvensional Sintering dan (b) Proses <i>Two-Step Sintering</i>	44
Gambar 4.3. (A) Sampel Pelet Hasil Proses Konvensional Sintering dan (B) Sampel Pelet Hasil Proses <i>Two-Step Sintering</i>	45

Gambar 4.6. Hasil pengujian densitas dan densitas relatif HA melalui proses konvensional sintering dan proses <i>two-step sintering</i>	53
Gambar 4.5. Grafik hasil pengujian kekerasan HA melalui proses konvensional sintering dan proses <i>two-step sintering</i>	55
Gambar 4.6. Pola difraksi sinar-X senyawa HA dan β -TCP	57
Gambar 4.7. Pergeseran puncak difraksi sinar-X senyawa HA dan β -TCP	58
Gambar 4.8. Plot hasil <i>refinement</i> fasa HA dan β -TCP	59
Gambar 4.6. Mikrostruktur HA konvensional sintering selama 2 jam dengan temperatur sintering (a) 800°C, (b) 900°C, (c) 1000°C, (d) 1100°C	60
Gambar 4.7. Mikrostruktur HA <i>two-step sintering</i> selama waktu dan temperatur sintering (a) 1000°C-800°C 2 jam, (b) 1000°C-900°C 2 jam, (c) 1000°C-800°C 5 jam, (d) 1000°C-900°C 5 jam	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2.2. Biokeramik bidang kedokteran (Sukmana et al., 2022).	13
Tabel 2.3. Sifat Mekanik Biomaterial Logam	14
Tabel 2.4. Skala Mohs	24
Tabel 2.4. Skala kekerasan Rockwell dan huruf awalnya.	27
Tabel 3.1. Proses Sintering Konvensional.	35
Tabel 3.2. Proses <i>Two-step Sintering</i> .	35
Tabel 4.1. Sampel 1 HA Massa Kering dan Massa Basah	46
Tabel 4.2. Sampel 2 HA Massa Kering dan Massa Basah	46
Tabel 4.3. Sampel 3 HA Massa Kering dan Massa Basah	47
Tabel 4.4. Hasil pengujian denitas dan porositas pada temperatur 800°C 2 jam	48
Tabel 4.5. Hasil pengujian densitas dan porositas pada temperatur 900°C 2 jam	49
Tabel 4.6. Hasil pengujian densitas dan porositas pada temperatur 1000°C 2 jam	49
Tabel 4.7. Hasil pengujian densitas dan porositas pada temperatur 1100°C 2 jam	49
Tabel 4.8. Sampel 1 HA Massa Kering dan Massa Basah	49
Tabel 4.9. Sampel 2 HA Massa Kering dan Massa Basah	50
Tabel 4.10. Sampel 3 HA Massa Kering dan Massa Basah	51
Tabel 4.11. Hasil pengujian densitas dan porositas pada temperatur 1000°C-800°C 2 jam	51
Tabel 4.12. Hasil pengujian densitas dan porositas pada temperatur 1000°C-900°C 2 jam	52
Tabel 4.13. Hasil pengujian densitas dan porositas pada temperatur 1000°C-800°C 5 jam	52
Tabel 4.14. Hasil pengujian densitas dan porositas pada temperatur 1000°C-900°C 5 jam	52
Tabel 4.15. Data hasil nilai kekerasan tiap variasi temperatur dan waktunya	54

Tabel 4.16. Hasil <i>refinement</i> terhadap data difraksi senyawa HA dan β -TCP pada setiap sampel	58
Tabel 4.17. Presentase fasa HA dan β -TCP dari proses <i>refinement</i> dua fasa	59
Tabel 5.1. Tabel perbandingan hasil pengujian densitas dan densitas relatif	63
Tabel 5.2. Tabel perbandingan hasil pengujian kekerasan	63



DAFTAR SINGKATAN, SIMBOL, DAN ISTILAH

Daftar Singkatan

HA	: Hidroksiapatit
S	: Sampel Konvensional Sintering
TSS	: Sampel <i>Two-step Sintering</i>
β -TCP	: Tricalcium Bis(phosphat)
CaO	: Kalsium Oksida
mk	: Massa Kering
mb	: Massa Basah
BHN	: <i>Brinell Hardness Number</i>
VHN	: <i>Vickers Hardness Number</i>
XRD	: <i>X-Ray Diffraction</i>

Daftar Simbol

%	: Presentase
ρ_m	: Density

Daftar Istilah

<i>Two-step Sintering</i>	: Proses pemanasan dua tahap untuk mengoptimalkan kepadatan dan ukuran butir material yang dihasilkan
Konvensional Sintering	: Proses pemanasan dan pemadatan material serbuk melalui pemanasan pada temperatur yang lebih rendah dari titik leleh material yang digunakan
<i>Solid-state Sintering</i>	: Proses serbuk material dipadatkan dan disatukan melalui difusi atomik tanpa mencairkan material
<i>Liquid-phase Sintering</i>	: Proses serbuk material dipadatkan dan disatukan melalui pemanasan dengan sebagian material mencair , sementara bagian lainnya tetap dalam fase padat