

**SKRIPSI**

**STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/SIO<sub>2</sub> BERPORI  
MELALUI PROSES SINTERING DINGIN DAN *SPACE*  
*HOLDER* UNTUK ADSORPSI CO<sub>2</sub>**



**OLEH**

**M.RIDWAN**

**03051282025026**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**



**SKRIPSI**

**STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/SIO<sub>2</sub> BERPORI  
MELALUI PROSES SINTERING DINGIN DAN *SPACE*  
*HOLDER* UNTUK ADSORPSI CO<sub>2</sub>**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana  
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



**OLEH**

**M.RIDWAN**

**03051282025026**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/SIO<sub>2</sub> BERPORI  
MELALUI PROSES SINTERING DINGIN DAN *SPACE*  
*HOLDER* UNTUK ADSORPSI CO<sub>2</sub>**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin  
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

**M.RIDWAN**

**03051282025026**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin



**Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.**  
**NIP. 197112251997021001**

Palembang, Mei 2024  
Diperiksa dan disetujui oleh  
Pembimbing Skripsi

**Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.**  
**NIP. 197909272003121004**



JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.  
Diterima Tanggal  
Paraf

: 09112MIAK1004  
: 20-06-2024  
:

## SKRIPSI

NAMA : M.RIDWAN  
NIM : 03051282025026  
JURUSAN : TEKNIK MESIN  
JUDUL SKRIPSI : STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/SIO<sub>2</sub>  
BERPORI MELALUI PROSES SINTERING  
DINGIN DAN *SPACE HOLDER* UNTUK  
ADSORPSI CO<sub>2</sub>  
DIBUAT TANGGAL : 18 NOVEMBER 2023  
SELESAI TANGGAL : 30 MARET 2024

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.  
NIP. 197112251997021001

Palembang, 03 Juni 2024  
Diperiksa dan disetujui oleh  
Pembimbing Skripsi



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197909272003121004





## HALAMAN PERSETUJUAN


Karya tulis ilmiah berupa Proposal Skripsi ini dengan judul “STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/SIO<sub>2</sub> BERPORI MELALUI PROSES SINTERING DINGIN DAN *SPACE HOLDER* UNTUK ADSORPSI CO<sub>2</sub>” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 22 Mei 2024.

Palembang, 22 Mei 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 198106302006041001



(.....)

Anggota

2. Nurhabibah Paramitha Eka Utami, S.T., M.T.  
NIP. 198911172015042003



(.....)

3. Gunawan, S.T., M.T.  
NIP. 197705072001121001



(.....)

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.  
NIP. 197112251997021001

Diperiksa dan disetujui oleh  
Pembimbing Skripsi



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197909272003121004



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah* puja, puji serta rasa syukur penulis haturkan atas kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan rahmat, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat beserta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad *Shalallahu Alaihi Wassalam*, beserta para keluarga, sahabat, dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Skripsi yang berjudul “Studi Fabrikasi Komposit HA/SiO<sub>2</sub> Berpori Melalui Proses Sintering Dingin Dan Space Holder Untuk Adsorpsi” disusun untuk melengkapi salah satu syarat mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik materil maupun moril. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada :

1. Ibu Nurul, bapak Hendri selaku orang tua penulis yang selalu mendukung baik secara lahir maupun batin.
2. Irsyadi Yani, S.T, M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
3. Amir Arifin, S.T, M.Eng., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya sekaligus Dosen Pembimbing Skripsi I yang telah berkenan memberi tambahan ilmu dan solusi pada penulisan proposal skripsi ini.
4. Gunawan, S.T, M.T., Ph.D selaku Dosen pengarah Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya sekaligus Dosen yang telah membantu membimbing dan mengarahkan dalam penulisan proposal skripsi ini.
5. Seluruh Dosen di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan proposal skripsi ini masih banyak sekali kekurangan dikarenakan keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun untuk kelanjutan skripsi ini kedepannya akan sangat membantu. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang di kemudian hari.

Palembang, 30 Februari 2024



M.Ridwan  
NIM. 03051282025026

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M.Ridwan

NIM : 03051282025026

Judul : STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/SIO<sub>2</sub> BERPORI MELALUI  
PROSES SINTERING DINGIN DAN *SPACE HOLDER* UNTUK  
ADSORPSI CO<sub>2</sub>

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 03 Juni 2024



M.Ridwan  
NIM. 03051282025026



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M.Ridwan

NIM : 03051282025026

Judul : STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/SIO<sub>2</sub> BERPORI MELALUI  
PROSES SINTERING DINGIN DAN *SPACE HOLDER* UNTUK  
ADSORPSI CO<sub>2</sub>

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun.



Indralaya, 03 Juni 2024



M.Ridwan

NIM. 03051282025026





## RINGKASAN

STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub> BERPORI MELALUI PROSES SINTERING DINGIN DAN *SPACE HOLDER* UNTUK ADSORPSI CO<sub>2</sub>

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 22 Mei 2024

M.Ridwan, dibimbing oleh Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.

Xxxii + 64 halaman, 37 gambar, 6 tabel

### RINGKASAN

Pemanasan global merupakan masalah yang signifikan karena tingginya konsentrasi emisi gas rumah kaca di atmosfer. Indonesia salah satu penghasil emisi terbesar di dunia dimana emisi gas rumah kaca didominasi oleh gas CO<sub>2</sub>. Sebagian besar gas CO<sub>2</sub> dihasilkan oleh pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan suhu global secara bertahap. Sektor industri di Indonesia menyumbang 8-20% emisi gas rumah kaca, dimana 64% berasal dari penggunaan energi, 24% dari limbah industri, dan 12% dari proses produksi dan penggunaan produk. Oleh karena itu, salah satu upaya untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> harus fokus pada penangkapan karbon pasca pembakaran untuk menghilangkan CO<sub>2</sub> dari aliran gas buang. Salah satu upaya untuk menanggulangi permasalahan tersebut yaitu dengan bahan penyerap padat sebagai filtrasi karbon. Bahan padatan yang bisa digunakan diantaranya hidroksiapatit karena memiliki reaktivitas terhadap karbon dioksida dan stabilitas termal yang tinggi. Proses fabrikasi komposit hidroksiapatit berpori sebagai bahan penyerap padat dengan menggunakan metode metalurgi serbuk dan sintering dingin dengan bahan utama tulang sapi untuk mensintesis hidroksiapatit sebagai matrik, silika sebagai penguat dan kacang hijau sebagai *space holder*. Proses pembuatan komposit hidroksiapatit yaitu kalsinasi tulang sapi dengan suhu 800°C, penghalusan serbuk dan pencampuran setiap serbuk menggunakan *ballmilling*. Serbuk yang telah tercampur diproses sintering dingin dengan variasi tekanan kompaksi 200, 300, dan 400 Mpa pada suhu 250°C dengan *holding time* 15 menit serta variasi komposisi HA/SiO<sub>2</sub> 70%/30, 80%/20% dan 90%/10%. Pengujian yang di lakukan

adalah pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui variasi komposisi keramik yang memiliki banyak porositas, pengujian *X-ray diffraction*(XRD) bertujuan mengkarakterisasi fasa-fasa yang terbentuk pada bahan dan keramik, pengujian *scanning electron microscope*(SEM) bertujuan untuk melihat struktur mikro dari keramik sehingga dapat diketahui porositas dan interkoneksi antar serbuk pada keramik setelah di *sintering*, dan pengujian *carbon capture* bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan komposit berpori mengadsorpsi CO<sub>2</sub>. Pada pengujian densitas semakin besar tekanan kompaksi dan konsentrasi SiO<sub>2</sub> maka porositas semakin menurun, sedangkan pengujian XRD keramik terdapat 2 fasa yang dominan yaitu fasa hidroksiapatit dan fasa SiO<sub>2</sub>, kemudia pengujian SEM dilakukan di 1 titik dapat dilihat bentuk porositas secara jelas dengan variasi pembesaran 2000x dan 5000x memiliki ukuran pori yang bervariasi, ukuran yang didapatkan mulai dari 1,65 µm sampai dengan 6,95 µm, dan pengujian *carbon capture* komposit berhasil mengadsorpsi CO<sub>2</sub> dengan baik dan memiliki rata-rata kemampuan adsorpsi sebesar 54,69%.

**Kata Kunci :** karbon dioksida, sintering dingin, hidroksiapatit, *carbon capture*

## SUMMARY

### FABRICATION STUDY OF POROUS HA/SIO<sub>2</sub> COMPOSITES THROUGH COLD SINTERING AND SPACE HOLDER PROCESS FOR CO<sub>2</sub> ADSORPTION

Scientific writing in the form of a thesis, May 22 2024

M.Ridwan, supervised by Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.

Xxxii + 64 pages, 37 figures, 6 tables

### SUMMARY

Global warming is a significant problem due to the high concentration of greenhouse gas emissions in the atmosphere. Indonesia is one of the largest emitters in the world where greenhouse gas emissions are dominated by CO<sub>2</sub> gas. Most of the CO<sub>2</sub> gas is produced by power plants that use fossil fuels, thus contributing to the gradual increase in global temperatures. The industrial sector in Indonesia contributes 8-20% of greenhouse gas emissions, of which 64% comes from energy use, 24% from industrial waste, and 12% from production processes and product use. Therefore, one of the efforts to reduce CO<sub>2</sub> emissions should focus on post-combustion carbon capture to remove CO<sub>2</sub> from the flue gas stream. One of the efforts to overcome these problems is with solid sorbents as carbon filtration. Solid materials that can be used include hydroxyapatite because it has reactivity to carbon dioxide and high thermal stability. The fabrication process of porous hydroxyapatite composites as a solid sorbent using powder metallurgy and cold sintering methods with the main ingredients of cow bone to synthesize hydroxyapatite as a matrix, silica as reinforcement and mung beans as space. as reinforcement and mung bean as space holder. Manufacturing process hydroxyapatite composites are calcination of cow bone at 800°C, powder pulverization and mixing of each powder using ballmilling. The powder that has been mixed is processed by cold sintering with variations in compaction pressure of 200, 300, and 400 Mpa at 250 °C with a holding time of 15 minutes and variations in HA/SiO<sub>2</sub> composition of 70%/30, 80%/20% and 90%/10%. The tests carried out

are density testing aimed at knowing the composite composition variations that have a lot of porosity, X-ray testing, and X-rays testing. which has a lot of porosity, X-ray diffraction (XRD) testing aims to characterize the phases formed in materials and composites, scanning electron microscope (SEM) testing aims to see the microstructure of the composite so that it can be known porosity and interconnection between powders in the composite after sintering. Composite after sintering, and carbon capture testing aims to determine how much the ability of porous ceramics to adsorb CO<sub>2</sub>. In density testing, the greater the compaction pressure and SiO<sub>2</sub> concentration, the more porosity decreases, while XRD testing of ceramics has 2 dominant phases, namely the hydroxyapatite phase and the SiO<sub>2</sub> phase, then SEM testing is carried out at 1 point, it can be seen that the porosity shape is clearly visible with a variation of 2000x and 5000x magnification, has a varied pore size, the size obtained starts from 1.65 μm to 6.95 μm, and the composite carbon capture test successfully adsorbs CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> well and has an average adsorption ability of 54.69%.

**Keywords:** carbon dioxide, cold sintering, hydroxyapatite, carbon capture

## DAFTAR ISI

SKRIPSI .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	v
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....	xv
RINGKASAN .....	xvii
SUMMARY .....	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR .....	xxv
DAFTAR TABEL .....	xxvii
DAFTAR SIMBOL.....	xxix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxxii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Emisi Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) .....	5
2.2 <i>Carbon Capture and Storage</i> (CCS).....	8
2.2.1 <i>Solid Adsorption</i> .....	10
2.2.2 Pemisahan Membran.....	10
2.2.3 Distilasi Kriogenik.....	11
2.3 Adsorpsi CO <sub>2</sub> .....	11
2.4 Keramik.....	12
2.5 Keramik Berpori .....	12
2.6 Tulang Sapi .....	13
2.7 Hidroksiapatit.....	15

2.8	Metode Sintesis Hidroksiapatit .....	15
2.8.1	Metode <i>Mechanochemical</i> .....	16
2.8.2	Metode Hidrotermal .....	16
2.8.3	Metode Sol gel.....	16
2.8.4	Metode Presipitasi .....	17
2.8.5	Metode Kalsinasi.....	17
2.9	Sumber Sintesis Hidroksiapatit Alami .....	17
2.10	Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	18
2.11	Kacang Hijau ( <i>Vigna Radiata</i> ).....	18
2.12	<i>Mixing</i> (Pencampuran) .....	19
2.13	Kompaksi.....	19
2.14	Sintering .....	21
2.15	Klasifikasi Sintering Konvensional.....	22
2.15.1	<i>Solid State</i> Sintering .....	22
2.15.2	<i>Liquid Phase</i> Sintering .....	22
2.15.3	<i>Viscous</i> Sintering.....	24
2.16	<i>Cold Sintering</i> .....	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		27
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2	Studi Literatur.....	28
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian .....	28
3.4	Persiapan Alat dan Bahan.....	29
3.5	Persiapan Bahan Pembuatan Keramik Hidroksiapatit Berpori .....	29
3.6	Prosedur Penelitian.....	30
3.6.1	Proses Pembuatan Serbuk Hidroksiapatit.....	30
3.6.2	Persiapan <i>Reinforced</i> .....	32
3.6.3	Proses Persiapan <i>Space holder</i> .....	32
3.6.4	Pembuatan Keramik HA/SiO <sub>2</sub> Berpori.....	33
3.7	Metode Pengujian.....	34
3.7.1	Uji X-Ray <i>Diffraction</i> (XRD).....	34
3.7.2	Uji Densitas .....	35
3.7.3	Uji <i>Scanning Electron Microcopy</i> (SEM).....	36
3.7.4	Uji <i>Carbon Capture</i> .....	36
3.8	Analisis Pengolahan Data.....	37

3.9	Hasil Yang Diharapkan.....	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1	Pembuatan HA/SiO <sub>2</sub> Berpori .....	39
4.2	Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	40
4.2.1	Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> HA/SiO <sub>2</sub> .....	40
4.2.2	Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> SiO <sub>2</sub> .....	41
4.2.3	Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> Komposit HA/SiO <sub>2</sub> .....	42
4.3	Pengujian Densitas.....	43
4.4	Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) .....	47
4.5	Pengujian <i>Carbon Capture</i> .....	49
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		51
5.1	Kesimpulan .....	51
5.2	Saran .....	51
DAFTAR PUSTAKA .....		53
LAMPIRAN .....		59





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Total emisi gas rumah kaca lintas sektor .....	6
Gambar 2.2 Grafik intensitas karbon dari sektor energi .....	7
Gambar 2.3 Grafik emisi CO <sub>2</sub> terkait energi menurut sektor.....	7
Gambar 2.4 Grafik bauran energi.....	8
Gambar 2.5 Alur skematik CO <sub>2</sub> Capture .....	8
Gambar 2.6 Proses adsorpsi .....	11
Gambar 2.7 (a) Sel terbuka dan (b) Sel tertutup .....	13
Gambar 2.8 Tulang Femur .....	14
Gambar 2.9 Struktur Kimia Hidroksiapatit .....	15
Gambar 2.10 TGA bubuk kacang hijau .....	18
Gambar 2.11 Proses kompaksi .....	20
Gambar 2.12 <i>Solid State Sintering</i> .....	22
Gambar 2.13 <i>Liquid phase sintering</i> .....	23
Gambar 2.14 a) <i>uniaxial cold sintering</i> b) <i>cold hidrostatic sintering</i> .....	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.2 Proses perebusan tulang sapi.....	30
Gambar 3.3 Proses Penjemuran tulang sapi .....	31
Gambar 3.4 Proses pemotongan tulang sapi .....	31
Gambar 3.5 <i>Ballmiling</i> .....	32
Gambar 3.6 Proses kompaksi .....	33
Gambar 3.7 Alat uji XRD .....	34
Gambar 3.8 Densimeter .....	35
Gambar 3.9 Alat uji <i>scanning electron microscopy (SEM)</i> .....	36
Gambar 3.10 Alat Uji <i>carbon capture</i> .....	37
Gambar 4.1 Proses <i>Cold Sintering</i> .....	39
Gambar 4.2 Sampel komposit HA/SiO <sub>2</sub> .....	40
Gambar 4.3 Grafik Hasil XRD Komposit HA/SiO <sub>2</sub> .....	40
Gambar 4.4 Hasil XRD SiO <sub>2</sub> .....	41
Gambar 4.5 Hasil XRD Tulang Sapi.....	42

Gambar 4.6 Berat komposit berpori di udara .....	43
Gambar 4.7 Berat komposit berpori di air .....	44
Gambar 4.8 Grafik porositas komposit HA/SiO <sub>2</sub> ( <i>Space holder</i> % wt) .....	46
Gambar 4.9 Hasil Analisis SEM Keramik Berpori 90% HA/10% SiO <sub>2</sub> dengan perbesaran 2000x.....	48
Gambar 4.10 Hasil Analisis SEM Keramik Berpori 90% HA/10% SiO <sub>2</sub> dengan.	48
Gambar 4.11 Grafik data hasil adsorpsi CO <sub>2</sub> ke-1.....	49
Gambar 4.12 Grafik data hasil adsorpsi CO <sub>2</sub> ke-2.....	49
Gambar 4.13 Grafik data hasil CO <sub>2</sub> yang teradsorpsi .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	28
Tabel 3.2 Data Pengujian .....	37
Tabel 4.1 Data hasil pengujian densitas dan porositas komposit 70% HA / 30% SiO <sub>2</sub> berpori dengan 20% <i>space holder</i> kacang hijau temperatur 250°C .....	45
Tabel 4.2 Data hasil pengujian densitas dan porositas komposit 80% HA / 20% SiO <sub>2</sub> berpori dengan 20% <i>space holder</i> kacang hijau temperatur 250°C.....	45
Tabel 4.3 Data hasil pengujian densitas dan porositas komposit 90% HA / 10% SiO <sub>2</sub> berpori dengan 20% <i>space holder</i> kacang hijau temperatur 250°C.....	46
Tabel 4.4 Data hasil pembacaan adsorpsi CO <sub>2</sub> .....	50



## DAFTAR SIMBOL

$W_{udara}$	: Berat spesimen di udara (kg)
$W_{fluida}$	: Berat spesimen didalam fluida (kg)
$\rho_{apparent}$	: Densitas aktual ( $kg/m^3$ )
$\rho_{fluida}$	: Densitas fluida ( $kg/m^3$ )
$\rho_{teoritis}$	: Densitas teoritis ( $kg/m^3$ )
$\rho_{relatif}$	: Densitas relatif ( $kg/m^3$ )
$V_h$	: Berat hidroksiapatit % (g)
$V_s$	: Berat silika % (g)
$\rho_h$	: Densitas hidroksiapatit ( $g/cm^3$ )
$\rho_s$	: Densitas silika ( $g/cm^3$ )
$\Phi$	: Porositas (%)



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Form Formulir Konsultasi Proposal atau Tugas Akhir.....	59
Lampiran 2. Hasil Akhir Similaritas (Turnitin) .....	60
Lampiran 3. Surat Pernyataan Bebas Plagiarisme .....	61
Lampiran 4. Respon Perbaikan Sidang Sarjana .....	62
Lampiran 5. Form Pengecekan Format Tugas Akhir.....	63





# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pemanasan global menjadi salah satu yang penting pada saat ini. Munculnya pemanasan global disebabkan oleh banyaknya gas rumah kaca di atmosfer. Beberapa macam gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub>, metana, Nox, perfluorokarbon dan hidrofluorokarbon. Gas CO<sub>2</sub> terus terakumulasi dalam jumlah besar dengan resiko terbesar dalam perubahan iklim (Nurdiawansyah dan Lindrianasari, 2018). Indonesia sebagai salah satu negara penghasil emisi rumah kaca terbesar didunia dan terus meningkat sejak tahun 2015 (Dunne, 2019). Gas CO<sub>2</sub> mendominasi dari emisi gas rumah kaca di Indonesia menurut data dari Profil Carbon Brief Indonesia. Salah satu penyebab banyaknya gas CO<sub>2</sub> yaitu pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak dan gas alam dengan mengeluarkan gas CO<sub>2</sub> tambahan ke atmosfer. Hal ini menyebabkan pemanasan global dengan kenaikan suhu bumi secara perlahan (Thitakamol dkk., 2007).

Menurut kemenperin Antara tahun 2015 dan 2022, sektor industri di Indonesia mengeluarkan 8–20% dari total emisi gas rumah kaca negara. Adapun sumber emisi dari sektor industri pada tahun 2022 diperoleh 64% emisi berasal dari kategori penggunaan energi di industri, 24% berasal dari emisi limbah industri, dan 12% berasal dari proses produksi dan penggunaan produk. atau Penggunaan Proses dan Produk Industri (IPPU). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengurangi emisi gas ini dengan pemisahan dari sumber-sumber gas CO<sub>2</sub> atau penangkapan karbon pasca pembakaran, dimana CO<sub>2</sub> dihilangkan dari aliran gas buang yang terdiri dari bermacam komponen seperti udara, air dan CO<sub>2</sub> dengan adsorben amina atau bebahan dasar kalsium padat sebelum gas tersebut dialirkan ke lingkungan (Wang dkk., 2015, Sreedhar dkk., 2017)

Bahan berbasis kalsium telah digunakan sebagian besar diterapkan untuk penangkapan CO<sub>2</sub> karena reaktivitasnya yang tinggi terhadap CO<sub>2</sub> seperti kalsium oksida (CaO), namun padatan berbasis CaO memiliki stabilitas termal yang rendah akibat sintering butiran dan penghancuran porositas adsorben. Salah satu bahan lainnya yang berbasis kalsium adalah Hidroksiapatit. HA yang telah disintesis menunjukkan adanya kemampuan untuk menyerap CO<sub>2</sub> dan memiliki stabilitas termal yang tinggi selama beberapa siklus karbonasi (Ojeda-Niño dkk., 2017) dibandingkan dengan CaO yang memiliki stabilitas termal yang rendah. Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk mensintesis hidroksiapatit yang kemudian digunakan sebagai utama adalah tulang sapi yang mempunyai kandungan kalsium yang sangat tinggi yaitu sekitar 85,84%. Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub> merupakan rumus kimia hidroksiapatit material biokeramik dengan ikatan kimia yang kuat pembentuknya juga sebagai penyusun tulang organisme yang hidup (Gunawan dkk., 2013). Fosfat yang terkandung pada batu-batuan merupakan sumber anorganik yang dapat menghasilkan hidroksiapatit. Sedangkan dari cangkang tulang sapi, tulang ikan, cangkang dan telur ayam merupakan sumber organik (Gunawan dkk., 2019, Arifin dkk., 2022).

Hidroksiapatit dapat menjadi alternatif yang menarik untuk adsorben CO<sub>2</sub> dimana pada penelitian saat ini banyak yang menggunakan CaO. Maka dari itu, masih diperlukan pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme penangkapan CO<sub>2</sub> oleh hidroksiapatit, serta pengembangan teknik yang lebih efisien dalam penggunaannya. Tulang sapi digunakan sebagai elemen utama dalam penelitian ini untuk membuat keramik hidroksiapatit karena tulang sapi memiliki kalsium dan fosfor yang merupakan unsur utama pembentukan hidroksiapatit, dengan kandungan kimia tersebut tulang sapi juga berpotensi sebagai adsorben CO<sub>2</sub> melalui porositas pada keramik hidroksiapatit. Penelitian ini menggunakan proses sintering dingin dalam pembuatan keramik hidroksiapatit, proses ini menggunakan suhu relatif rendah dan secara bersamaan dikompasi dengan tekanan yang cukup besar. Proses sintering dingin memiliki biaya yang lebih rendah karena memerlukan energi yang lebih sedikit dibandingkan dengan proses sintering normal. Berdasarkan uraian diatas maka

penulis bermaksud membahas: “**Studi Fabrikasi Komposit HA/SiO<sub>2</sub> Berpori Melalui Proses Sintering Dingin Dan *Space Holder* Untuk Adsorpsi CO<sub>2</sub>**”

## 1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori dengan menggunakan bahan dari alam. Bahan alam yang dimanfaatkan yaitu limbah tulang sapi bagian kaki sebagai matriks organik dan silika (SiO<sub>2</sub>) sebagai campuran reinforced dan kacang hijau sebagai *space holder*. Pada penelitian sebelumnya pembuatan keramik HA/SiO<sub>2</sub> menggunakan tekanan kompaksi yang relatif kecil dan menggunakan metode sintering normal, pada penelitian ini menggunakan tekanan kompaksi relatif besar 200, 300 dan 400 Mpa menggunakan metode cold sintering dengan suhu relatif rendah. Proses cold sintering memiliki biaya yang lebih rendah karena memerlukan energi yang lebih sedikit dibandingkan dengan proses sintering normal. Tekanan kompaksi merupakan parameter utama dalam penentuan sifat komposit HA/SiO<sub>2</sub>.

## 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini, sebagai berikut dalam :

1. Bahan utama dalam pembuatan komposit hidroksiapatit adalah dari tulang sapi ditambah penguat SiO<sub>2</sub>.
2. *Space holder* yang dipakai pada penelitian ini adalah kacang hijau.
3. Menggunakan *cold sintering* pada temperature 250°C.
4. Kompaksi dilakukan pada tekanan 200, 300 dan 400 MPa selama 15 menit.

5. Sumber gas CO<sub>2</sub> berasal dari gas buang hasil pembakaran sepeda motor 150CC dalam kondisi idle.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan utama penelitian ini dilakukan oleh penulis sebagai berikut:

1. Untuk membuat komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori dengan metode *cold sintering*.
2. Untuk mengkarakterisasi sifat kimia dan sifat fisik komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori dengan metode *cold sintering*.
3. Untuk mengetahui pengaruh tekanan kompaksi pada pembuatan komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori.
4. Untuk menganalisis pengaruh adsorben HA/SiO<sub>2</sub> terhadap kemampuan penyerapan emisi CO<sub>2</sub>.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, adalah :

1. Membuat komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori sebagai penyerap emisi CO<sub>2</sub>.
2. Mempelajari sifat kimia dan sifat fisik komposit HA/SiO<sub>2</sub>.
3. Agar dapat membantu peneliti lainnya terkhusus pada pembuatan komposit HA/SiO<sub>2</sub> dengan metode sintering dingin.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. 2020. Studi Pembuatan Komposit HA/SiO<sub>2</sub> Berpori Menggunakan Space Holder Ubi Jalar Ungu. Universitas Sriwijaya.
- Ansaloni, L., Salas-Gay, J., Ligi, S. & Baschetti, M. G. 2017. Nanocellulose-Based Membranes For CO<sub>2</sub> Capture. *Journal Of Membrane Science*, 522, 216-225.
- Anwar, S. A. 2014. Karakterisasi Scaffold Bovine Hydroxyapatite Dari Tulang Sapi Limbah Bakso Balungan Untuk Aplikasi Implan Tulang Mandibula Menggunakan Metode Kalsinasi. *Prosiding Snatif*, 129-136.
- Arifin, A., Gunawan, Amin, M. W., Mardhi, A., Trycahyono, G. & Burlian, F. Characterization Porous Ha/Sio<sub>2</sub> Composite Prepared Using Natural Space Holder. In: Hassan, M. H. A., Ahmad Manap, Z., Baharom, M. Z., Johari, N. H., Jamaludin, U. K., Jalil, M. H., Mat Sahat, I. & Omar, M. N., Eds. *Human-Centered Technology For A Better Tomorrow, 2022// 2022 Singapore*. Springer Singapore, 279-287.
- Arifin, A., Yani, I. & Arian, S. D. The Fabrication Porous Hydroxyapatite Scaffold Using Sweet Potato Starch As A Natural Space Holder. *Journal Of Physics: Conference Series*, 2019. Iop Publishing, 042020.
- Bandilla, K. W. 2020. 31 - Carbon Capture And Storage. In: Letcher, T. M. (Ed.) *Future Energy (Third Edition)*. Elsevier.
- Barakat, N. A. M., Khil, M. S., Omran, A. M., Sheikh, F. A. & Kim, H. Y. 2009. Extraction Of Pure Natural Hydroxyapatite From The Bovine Bones Bio Waste By Three Different Methods. *Journal Of Materials Processing Technology*, 209, 3408-3415.
- Blendell, J. E. & Rheinheimer, W. 2021. Solid-State Sintering. In: Pomeroy, M. (Ed.) *Encyclopedia Of Materials: Technical Ceramics And Glasses*. Oxford: Elsevier.
- Budihartono, S. 2012. Pengaruh Pressureless Sintering Komposit Al-Kaolin Terhadap Densitas, Kekerasan Dan Struktur Mikro. *Traksi*, 12.
- Chairunnisa, P. S. & Wardhana, Y. W. 2016. Karakterisasi Kristal Bahan Padat Aktif Farmasi. *Farmaka*, 14, 17-32.
- Change, I. P. O. C. 2005. *Ippc Special Report On Carbon Dioxide Capture And Storage: Summary For Policy Makers: As Approved By The 8th Session Of Ippc Working Group Iii, September 25th, 2005, Montreal, Canada, Intergovernmental Panel On Climate Change*.
- Cosentino, I., Muccillo, E. & Muccillo, R. 2003. Development Of Zirconia-Titania Porous Ceramics For Humidity Sensors. *Sensors And Actuators*

- B: Chemical, 96, 677-683.
- Delesev, F. 2008. Pengujian Alat Pendingin Sistem Adsorpsi Dua Adsorber Dengan Menggunakan Metanol 100 ml Sebagai Refrigeran.
- Duffy, S. J. 2011. Environmental Chemistry: A Global Perspective, Oxford University Press, Usa.
- Dunne, D. 2019. Profil Carbon Brief:Indonesia. Retrieved From Carbonbrief: <https://www.carbonbrief.org/profil-carbonbrief-indonesia>.
- Enerdata. 2021. Global Energy And Co2 Data [Online]. Available: <https://www.enerdata.net/research/energy-market-data-co2-emissions-database.html> [Accessed 17 November 2023].
- Fathi, M., Hanifi, A. & Mortazavi, V. 2008. Preparation And Bioactivity Evaluation Of Bone-Like Hydroxyapatite Nanopowder. Journal Of Materials Processing Technology, 202, 536-542.
- Figuerola, J. D., Fout, T., Plasynski, S., McIlvried, H. & Srivastava, R. D. 2008. Advances In CO<sub>2</sub> Capture Technology—The Us Department Of Energy's Carbon Sequestration Program. International Journal Of Greenhouse Gas Control, 2, 9-20.
- Galassi, C. 2006. Processing Of Porous Ceramics: Piezoelectric Materials. Journal Of The European Ceramic Society, 26, 2951-2958.
- Grasso, S., Biesuz, M., Zoli, L., Taveri, G., Duff, A. I., Ke, D., Jiang, A. & Reece, M. J. 2020. A Review Of Cold Sintering Processes. Advances In Applied Ceramics, 119, 115-143.
- Gunawan, Arifin, A. & Aditya, N. 2018. Fabrikasi Keramik Hidroksiapatit Berpori Dengan Menggunakan Space Holder Alami. 137-143.
- Gunawan, Sopyan, I., Naqshbandi, A. & Ramesh, S. 2013. Synthesis Of Zinc Doped-Biphasic Calcium Phosphate Nanopowder Via Sol-Gel Method. Key Engineering Materials, 531, 614-617.
- Gunawan, Wijayanto, I. G., Arifin, A., Trycahyono, G. & Octapia, A. 2023. Study Of The Effect Manufacturer Of Hydroxyapatite Ceramic Through Cold Sintering Process. Aip Conference Proceedings, 2689.
- Gunawan, G., Arifin, A., Yani, I. & Indrajaya, M. Characterization Of Porous Hydroxyapatite-Alumina Composite Scaffold Produced Via Powder Compaction Method. Iop Conference Series: Materials Science And Engineering, 2019. Iop Publishing, 012107.
- Guo, H., Baker, A., Guo, J., Randall, C. A. & Johnson, D. 2016. Cold Sintering Process: A Novel Technique For Low - Temperature Ceramic Processing Of Ferroelectrics. Journal Of The American Ceramic Society, 99, 3489-3507.
- Hansen, H., Hattel, J., Pedersen, D., Mohanty, S., Andersen, S., Nadimpalli, V., Klingaa, C., Dahmen, T. & Zhang, Y. 2019. Additive Manufacturing Of

- Metal Components – Process-Material Interaction In Different Process Chains. *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, 580, 012006.
- Iea 2013. *Technology Roadmap Carbon Capture And Storage–2013 Edition. Organization For Economic Co-Operation And Development/InternationalEnergy.*
- Jiang, A., Ke, D., Xu, L., Xu, Q., Li, J., Wei, J., Hu, C. & Grasso, S. 2019. Cold Hydrostatic Sintering: From Shaping To 3d Printing. *Journal Of Materiomics*, 5, 496-501.
- Khalilpour, R., Mumford, K., Zhai, H., Abbas, A., Stevens, G. & Rubin, E. S. 2015. Membrane-Based Carbon Capture From Flue Gas: A Review. *Journal Of Cleaner Production*, 103, 286-300.
- Knapik, E., Kosowski, P. & Stopa, J. 2018. Cryogenic Liquefaction And Separation Of Co<sub>2</sub> Using Nitrogen Removal Unit Cold Energy. *Chemical Engineering Research And Design*, 131, 66-79.
- Mascarenhas, J. 1997. Sintering Behaviour, Microstructure And Mechanical Properties Of Vanadium Enriched High Speed Steels Processed In Vacuum And Nitrogen Rich Atmospheres.
- Mohd Pu'ad, N. A. S., Koshy, P., Abdullah, H. Z., Idris, M. I. & Lee, T. C. 2019. Syntheses Of Hydroxyapatite From Natural Sources. *Heliyon*, 5, E01588.
- Nurdiawansyah, N. & Lindrianasari, L. 2018. Carbon Emission Issues In Indonesia. *Review Of Integrative Business And Economics Research*, 7, 20-33.
- Ohji, T. & Fukushima, M. 2012. Macro-Porous Ceramics: Processing And Properties. *International Materials Reviews*, 57, 115-131.
- Ojeda-Niño, O. H., Blanco, C. & Daza, C. E. 2017. High Temperature Co<sub>2</sub> Capture Of Hydroxyapatite Extracted From Tilapia Scales. *Universitas Scientiarum*, 22, 215-236.
- Prasetyo, A. W. & Windarta, J. 2022. Pemanfaatan Teknologi Carbon Capture Storage (Ccs) Dalam Upaya Mendukung Produksi Energi Yang Berkelanjutan. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3, 231-238.
- Quina, M. J., Bontempi, E., Bogush, A., Schlumberger, S., Weibel, G., Braga, R., Funari, V., Hyks, J., Rasmussen, E. & Lederer, J. 2018. Technologies For The Management Of Msw Incineration Ashes From Gas Cleaning: New Perspectives On Recovery Of Secondary Raw Materials And Circular Economy. *Science Of The Total Environment*, 635, 526-542.
- Robles Hernandez, F. C., Herrera Ramírez, J. M. & Mackay, R. 2017. Powder Metallurgy. In: Robles Hernandez, F. C., Herrera Ramírez, J. M. & Mackay, R. (Eds.) *Al-Si Alloys: Automotive, Aeronautical, And Aerospace Applications*. Cham: Springer International Publishing.

- Rotella, G., Sanguedolce, M., Saffioti, M. R., Filice, L. & Testa, F. 2020. Strategies For Shaping Of Different Ceramic Foams. *Procedia Manufacturing*, 47, 493-497.
- Sadat-Shojai, M., Atai, M. & Nodehi, A. 2011. Design Of Experiments (Doe) For The Optimization Of Hydrothermal Synthesis Of Hydroxyapatite Nanoparticles. *Journal Of The Brazilian Chemical Society*, 22, 571-582.
- Septimus, S. 1961. *Anatomy Of Domestic Animal*, Mc. Graw Hill, New York.
- Shiekh, R. A., Ab Rahman, I. & Luddin, N. 2014. Modification Of Glass Ionomer Cement By Incorporating Hydroxyapatite-Silica Nano-Powder Composite: Sol-Gel Synthesis And Characterization. *Ceramics International*, 40, 3165-3170.
- Sohrabi Baba Heidary, D., Lanagan, M. & Randall, C. A. 2018. Contrasting Energy Efficiency In Various Ceramic Sintering Processes. *Journal Of The European Ceramic Society*, 38, 1018-1029.
- Sreedhar, I., Nahar, T., Venugopal, A. & Srinivas, B. 2017. Carbon Capture By Absorption – Path Covered And Ahead. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 76, 1080-1107.
- Suci, I. A. & Ngapa, Y. D. 2020. Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit (Hap) Dari Cangkang Kerang Ale-Ale Menggunakan Metode Presipitasi Double Stirring. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal Of Applied Chemistry)*, 8, 73-81.
- Tambunan, T. D. 2008. *Pembuatan Keramik Berpori Sebagai Filter Gas Buang Dengan Aditif Karbon Aktif*. Universitas Sumatera Utara.
- Thitakamol, B., Veawab, A. & Aroonwilas, A. 2007. Environmental Impacts Of Absorption-Based Co<sub>2</sub> Capture Unit For Post-Combustion Treatment Of Flue Gas From Coal-Fired Power Plant. *International Journal Of Greenhouse Gas Control*, 1, 318-342.
- Trycahyono, G. 2021. *Studi Pengaruh Tekanan Kompaksi Pada Pembuatan Keramik Hidroksiapatit Melalui Proses Sintering Dingin*. Universitas Sriwijaya.
- Turi, D., Ho, M., Ferrari, M.-C., Chiesa, P., Wiley, D. & Romano, M. C. 2017. CO<sub>2</sub> Capture From Natural Gas Combined Cycles By CO<sub>2</sub> Selective Membranes. *International Journal Of Greenhouse Gas Control*, 61, 168-183.
- Vakifahmetoglu, C. & Karacasulu, L. 2020. Cold Sintering Of Ceramics And Glasses: A Review. *Current Opinion In Solid State And Materials Science*, 24, 100807.
- Wang, T., Hovland, J. & Jens, K. J. 2015. Amine Reclaiming Technologies In Post-Combustion Carbon Dioxide Capture. *J Environ Sci (China)*, 27, 276-89.
- Wickramasinghe, D. & Rowell, D. 2006. *The Release Of Silicon From*



Amorphous Silica And Rice Straw In Sri Lankan Soils. *Biology And Fertility Of Soils*, 42, 231-240.

Ylinen, P. 2006. *Applications Of Coralline Hydroxyapatite With Bioabsorbable Containment And Reinforcement As Bone Graft Substitute*. Dissertation, Helsinki University.

Zahabi, M., Said, A. & Memari, A. 2021. Cold Sintering Of Calcium Carbonate For Construction Material Applications. *Acs Omega*, 6, 2576-2588.

Zimar, A. M. Z., Nowsath, M. H., Muhammad, M. N. & Herath, S. R. Non-Linear Behaviour Of Open-Cell Metal Foam Under Tensile Loading. 2016 Moratuwa Engineering Research Conference (Mercon), 5-6 April 2016. 349-354.