

**SKRIPSI**

**OPTIMASI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub>  
BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER*  
KACANG HIJAU DENGAN METODE TAGUCHI  
SEBAGAI ADSORPSI KARBON DIOKSIDA**



**Oleh:**

**RIFO FALAH**

**03051282025050**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**



**SKRIPSI**

**OPTIMASI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub>  
BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER*  
KACANG HIJAU DENGAN METODE TAGUCHI  
SEBAGAI ADSORPSI KARBON DIOKSIDA**

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



**OLEH**

**RIFO FALAH**

**03051282025050**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**OPTIMASI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub>  
BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER*  
KACANG HIJAU DENGAN METODE TAGUCHI  
SEBAGAI ADSORPSI KARBON DIOKSIDA**

**SKRIPSI**

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

**Oleh:**

**RIFO FALAH**

**03051282025050**

Palembang, 03 Juni 2024

Diperiksa dan disetujui oleh

**Pembimbing Skripsi**

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Mesin**




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



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



JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. : 096/TM/Ab/2024  
Diterima Tanggal : 20-06-2024  
Paraf 

## SKRIPSI

NAMA : RIFO FALAH  
NIM : 03051282025050  
JURUSAN : TEKNIK MESIN  
JUDUL SKRIPSI : OPTIMASI PEMBUATAN KOMPOSIT  
HA/SIO<sub>2</sub> BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE  
HOLDER* KACANG HIJAU DENGAN  
METODE TAGUCHI SEBAGAI ADSORPSI  
KARBON DIOKSIDA  
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 Skripsi ini dengan judul “OPTIMASI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SIO<sub>2</sub> BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER* KACANG HIJAU DENGAN METODE TAGUCHI SEBAGAI ADSORPSI KABON DIOKSIDA” 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

  
Irsyad 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

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, atas dengan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi dengan baik yang berjudul “Optimasi Pembuatan Komposit HA/SiO<sub>2</sub> Berpori Menggunakan *Space Holder* Kacang Hijau dengan Metode Taguchi sebagai Adsorpsi Karbon Dioksida ”.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam penyusunan proposal skripsi ini tentunya penulis tidak berkeja sendirian. Akan tetapi dapat bantuan serta dukungan dari orang-orang secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih pada pihak terkait, antara lain:

1. Bapak Rahman Asmawi dan Ibu Yohana, kedua orang tua penulis yang telah memberikan doa dan dukungan.
2. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Prof. 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. Bapak Gunawan, S.T., M.T., selaku Dosen pengarah Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Ellyanie S.T., M.T. selaku pembimbing akademik penulis di jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh Dosen di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Teman dan kerabat yang telah menyemangati dan membantu dalam menyelesaikan proposal.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam hal pembelajaran khususnya bagi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Palembang, 30 Februari 2024



Rifo Falah

NIM 03051282025050

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rifo Falah

NIM : 03051282025050

Judul : OPTIMASI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SIO<sub>2</sub> BERPORI  
MENGUNAKAN *SPACE HOLDER* KACANG HIJAU DENGAN  
METODE TAGUCHI SEBAGAI ADSORPSI KABON DIOKSIDA

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



Rifo Falah  
NIM. 03051282025050



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rifo Falah

NIM : 03051282025050

Judul : OPTIMASI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub> BERPORI  
MENGUNAKAN *SPACE HOLDER* KACANG HIJAU DENGAN  
METODE TAGUCHI SEBAGAI ADSORPSI KARBON DIOKSIDA

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.



Rifo Falah  
NIM. 03051282025050





## RINGKASAN

### OPTIMASI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub> BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER* KACANG HIJAU DENGAN METODE TAGUCHI SEBAGAI ADSORPSI KARBON DIOKSIDA

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 22 Mei 2024

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

Xxxii + 76 halaman, 43 gambar, 15 tabel

#### RINGKASAN

Meningkatnya gas emisi CO<sub>2</sub> secara terus-menerus mengakibatkan terjadinya efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global dan sekarang menjadi isu yang serius dibahas oleh dunia. Oleh karena itu diperlukan adanya pengurangan emisi gas CO<sub>2</sub> untuk mengatasi permasalahan ini. komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori dipilih sebagai solusi mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub>. Hidroksiapatit dipilih karena reaktivitasnya yang tinggi terhadap CO<sub>2</sub> serta silika sebagai *reinforced* yang kuat dalam komposit dan kacang hijau sebagai pembuat porositas yang baik. Metode Taguchi digunakan untuk mendapatkan hasil porositas tertinggi guna hasil adsorpsi karbon dioksida yang optimal. Terdapat empat parameter yaitu Komposisi Hidroksiapatit, Komposisi Space Holder, Temperatur Sintering dan Holding Time Sintering dengan tiga level pada masing-masing parameter yang dikombinasikan menggunakan *orthogonal array* L9 untuk mendapatkan 9 variasi spesimen serta masing-masing diuji dengan uji densitas yang kemudian dianalisis menggunakan ANOVA dengan karakteristik *Larger the Better* untuk menentukan level parameter yang paling berpengaruh terhadap pembentukan porositas. Pembuatan komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori menggunakan metode metalurgi serbuk menggunakan bahan baku berupa tulang sapi yang telah di kalsinasi pada temperatur 800°C dan juga serbuk silika (SiO<sub>2</sub>) serta serbuk kacang hijau yang telah di oven sebagai space holder pada suhu 150°C. Ukuran serbuk setiap bahan adalah 0,074 mm atau 200 mesh. Proses pembuatannya melibatkan proses kalsinasi dengan *electric furnace*, *grinding*, *sieving*, *mixing* menggunakan

*ballmilling*, *compression* menggunakan alat kompaksi dengan tekanan 150 mPa selama 10 menit per spesimen, dan sintering dengan temperatur 850°C, 900°C dan 1000°C. Setelah spesimen dari ke-9 variasi didapatkan kemudian diuji densitas untuk menentukan porositas lalu dianalisis menggunakan ANOVA maka didapatkan nilai optimal pada variasi komposisi Hidroksiapatit 65%, komposisi space holder 15%, Temperatur Sintering 900°C dan holding time sintering 90 menit. Kemudian, dilakukan pembuatan komposit HA/SiO<sub>2</sub> menggunakan variasi optimal untuk pengujian selanjutnya. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui porositas pada komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori, pengujian *X-ray diffraction* (XRD) mengkarakterisasi fasa-fasa yang terbentuk pada bahan dan komposit, pengujian *scanning electron microscope* (SEM) bertujuan untuk melihat struktur mikro dari komposit untuk mengetahui porositas dan interkoneksi antar serbuk pada keramik setelah dilakukan *sintering*, dan pengujian *carbon capture* bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori dalam mengadsorpsi CO<sub>2</sub>. Pada pengujian densitas pada level parameter optimal yaitu 65% HA, 15% SH, 900°C Temperatur Sintering dan 90 menit  *Holding time* memiliki nilai rata-rata porositas sebesar 35,4%, lalu pengujian XRD pada komposit HA/SiO<sub>2</sub> terdapat 2 fasa yang dominan yaitu fasa hidroksiapatit dan fasa silika, kemudian pengujian SEM dilakukan di 1 titik dengan perbesaran 2000x, 3000x dan 5000x terdapat bermacam macam bentuk dan ukuran porositas yaitu dari 0,774 µm sampai dengan 5,547 µm serta pengujian *Carbon Capture* pada komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori mampu mengadsorpsi CO<sub>2</sub> dengan sangat baik dan memiliki rata-rata 62,15% (791,74 PPM).

**Kata Kunci** : taguchi, karbon dioksida, komposit, hidroksiapatit, silika, kacang hijau, *carbon capture*

## SUMMARY

### OPTIMIZATION OF POROUS HA/SiO<sub>2</sub> COMPOSITE USING MUNG BEAN SPACE HOLDER WITH TAGUCHI METHOD AS ADSORPTION OF CARBON DIOXIDE

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

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

Xxxii + 76 pages, 43 figures, 15 tables

### SUMMARY

The continuous increase in CO<sub>2</sub> gas emissions results in a greenhouse effect that causes global warming and is now a serious issue discussed by the world. Therefore, it is necessary to reduce CO<sub>2</sub> gas emissions to overcome this problem. Porous HA/SiO<sub>2</sub> composites were chosen as a solution to reduce CO<sub>2</sub> gas emissions. Hydroxyapatite was chosen because of its high reactivity to CO<sub>2</sub> as well as silica as a strong reinforced in the composite and mung beans as a good porosity maker. The Taguchi method was used to obtain the highest porosity results for optimal carbon dioxide adsorption results. There are four parameters, namely Hydroxyapatite Composition, Space Holder Composition, Sintering Temperature and Holding Time Sintering with three levels in each parameter combined using an L9 orthogonal array to get 9 specimen variations and each tested with a density test which is then analyzed using ANOVA with Larger the Better characteristics to determine the level of parameters that have the most influence on porosity formation. Preparation of porous HA/SiO<sub>2</sub> composites using powder metallurgy method using raw materials in the form of cow bone that has been calcined at 800°C and also silica powder (SiO<sub>2</sub>) and mung bean powder that has been oven as a space holder at 150°C. The powder size of each material is 0.074 mm or 200 mesh. The manufacturing process involves calcination with an electric furnace, grinding, sieving, mixing using ballmilling, compression using a compacting device with a pressure of 150 mPa for 10 minutes per specimen, and

sintering with temperatures of 850°C, 900°C and 1000°C. After the specimens from the 9 variations were obtained, the density was tested to determine the porosity and then analyzed using ANOVA, the optimal value was obtained in the variation of 65% Hydroxyapatite composition, 15% space holder composition, 900°C Sintering Temperature and 90 minutes sintering holding time. Then, HA/SiO<sub>2</sub> composites were made using the optimal variation for further testing. The tests carried out are density testing aimed at knowing the porosity of porous HA/SiO<sub>2</sub> composites, X-ray diffraction (XRD) testing characterizes the phases formed in materials and composites, scanning electron microscope (SEM) testing aims to see the microstructure of the composite to determine the porosity and interconnection between powders on ceramics after sintering, and carbon capture testing aims to determine how much the ability of porous HA/SiO<sub>2</sub> composites to adsorb CO<sub>2</sub>. In density testing at the optimal parameter level, namely 65% HA, 15% SH, 900°C Sintering Temperature and 90 minutes Holding time has an average porosity value of 35.4%, then XRD testing on the HA/SiO<sub>2</sub> composite there are 2 dominant phases, namely hydroxyapatite phase and silica phase, then SEM testing is carried out at 1 point with 2000x, 3000x and 5000x magnification there are various shapes and sizes of porosity, namely from 0.774 μm to 5.547 μm and Carbon Capture testing on porous HA/SiO<sub>2</sub> composites are able to adsorb CO<sub>2</sub> very well and have an average of 62.15% (791.74 PPM).

**Keywords** : taguchi, carbon dioxide, composites, hydroxyapatite, silica, mung bean, 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 .....	xi
SUMMARY .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
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.....	2
1.3    Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.4    Tujuan Penelitian .....	3
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 (CCS)</i> .....	8
2.2.1 <i>Liquid solvents</i> .....	8
2.2.2 <i>Solid Adsorbents</i> .....	10
2.2.3    Membran.....	11
2.2.4 <i>Solid Looping</i> .....	12
2.3    Material Komposit .....	13
2.4    Adsorpsi Emisi CO <sub>2</sub> .....	14
2.4.1    Karbon Aktif .....	15
2.4.2    Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) .....	15

2.4.3	Lignoselulosa .....	16
2.4.4	Hidroksiapatit .....	17
2.5	Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	18
2.6	Kacang Hijau ( <i>Vigna Radiata</i> ).....	19
2.7	Kompaksi .....	20
2.8	Sintering .....	21
2.9	Metode Taguchi.....	22
2.9.1	Konsep Taguchi.....	22
2.9.2	<i>Orthogonal Array</i> (OA) Taguchi .....	23
2.9.3	Rasio S/N.....	23
2.9.4	Metode Anova .....	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	Alat dan Bahan .....	29
3.5	Prosedur Penelitian.....	29
3.5.1	Persiapan Bahan Baku Pembuatan Hidroksiapatit .....	30
3.5.2	Persiapan Hidroksiapatit .....	30
3.5.3	Persiapan Reinforced.....	31
3.5.4	Persiapan <i>Space Holder</i> (Kacang Hijau).....	32
3.5.5	Optimasi Data.....	33
3.5.6	Pembuatan HA/SiO <sub>2</sub> Berpori .....	34
3.6	Metode Pengujian HA/SiO <sub>2</sub> Berpori .....	35
3.6.1	Uji Densitas .....	35
3.6.2	Uji XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	36
3.6.3	Uji SEM ( <i>Scanning Electron Microcope</i> ).....	37
3.6.4	Uji <i>Carbon Capture</i> .....	37
3.7	Analisis Pengolahan Data.....	38
3.8	Hasil yang Diharapkan .....	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		41
4.1	Optimasi Data.....	41
4.1.1	Metode Taguchi.....	41
4.1.2	Analisis Anova .....	43

4.1.3	Perhitungan Nilai Rata-Rata dan SNR.....	43
4.1.4	Perhitungan ANOVA Terhadap Nilai Rata-rata Setiap Faktor dan Level Faktor. ....	44
4.1.5	Penentuan Setting Level Optimal .....	49
4.1.6	Penentuan Nilai Selang Kepercayaan Kondisi Optimal. ....	50
4.1.7	Eksperimen Konfirmasi. ....	51
4.2	Uji Densitas.....	52
4.3	Uji XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ).....	55
4.3.1	Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> Tulang Sapi.....	55
4.3.2	Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> SiO <sub>2</sub> .....	56
4.3.3	Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> Komposit Berpori HA/SiO <sub>2</sub> .....	57
4.4	Uji SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ).....	58
4.5	Uji <i>Carbon Capture</i> .....	60
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		65
5.1	Kesimpulan .....	65
5.2	Saran .....	66
DAFTAR PUSTAKA .....		67
LAMPIRAN.....		71





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Total emisi gas rumah kaca lintas sektor .....	5
Gambar 2.2 Intensitas karbon dari sektor energi .....	6
Gambar 2.3 Emisi CO <sub>2</sub> terkait energi menurut sektor .....	7
Gambar 2.4 Bauran energi .....	7
Gambar 2.5 Penangkapan dan penyimpanan karbon .....	8
Gambar 2.6 Ilustrasi skema proses dalam penangkapan pelarut <i>Water-Lean Ion Clean Energy</i> .....	10
Gambar 2.7 Konsep mesin adsorpsi putar Svante VeloxoTherm™ .....	11
Gambar 2.8 Foto-foto pembuluh membran luka spiral (kiri) yang digunakan dalam sistem membran skala komersial (kanan) .....	12
Gambar 2.9 Skema proses perulangan ( <i>looping</i> ) kimiawi .....	13
Gambar 2.10 Pembagian komposit berdasarkan jenis penguat.....	13
Gambar 2.11 Ilustrasi komposit berdasarkan penguatnya .....	14
Gambar 2.12 Struktur Kimia Hidroksiapatit.....	18
Gambar 2.13 Grafik TGA kacang hijau .....	20
Gambar 2.14 Kompaksi .....	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	27
Gambar 3.2 Perebusan tulang sapi .....	30
Gambar 3.3 Serbuk Hidroksiapatit.....	31
Gambar 3.4 Serbuk SiO <sub>2</sub> .....	32
Gambar 3.5 Serbuk <i>Space Holder</i> (kacang Hijau).....	32
Gambar 3.6 Pengukuran Dimensi .....	34
Gambar 3.7 Penimbangan Massa Spesimen .....	35
Gambar 3.8 Penimbangan massa menggunakan fluida dan tanpa fluida.....	36
Gambar 3.9 Alat Uji XRD .....	36
Gambar 3.10 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	37
Gambar 3.11 Alat Uji <i>Carbon Capture</i> .....	38
Gambar 4.1 Grafik respon dari nilai rata-rata .....	45
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Parameter .....	47

Gambar 4.3 Grafik Respon Nilai SNR .....	49
Gambar 4.4 Perbandingan nilai selang kepercayaan .....	52
Gambar 4.5 Berat Komposit Berpori di Udara.....	53
Gambar 4.6 Berat Komposit Berpori di Air .....	53
Gambar 4.7 Grafik Hasil XRD Tulang Sapi.....	55
Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengujian XRD SiO <sub>2</sub> dan Referensi Hasil XRD SiO <sub>2</sub> ..	56
Gambar 4.9 Grafik Hasil XRD Komposit Berpori HA/SiO <sub>2</sub> Suhu 900°C.....	57
Gambar 4.10 Hasil Analisis SEM pada komposit HA/SiO <sub>2</sub> perbesaran 2000x ....	58
Gambar 4.11 Hasil Analisis SEM pada komposit HA/SiO <sub>2</sub> perbesaran 3000x ....	59
Gambar 4.12 Hasil Analisis SEM pada komposit HA/SiO <sub>2</sub> perbesaran 5000x ....	59
Gambar 4.13 Desain 2D Alat Uji <i>Carbon Capture</i> .....	60
Gambar 4.14 Alat Uji <i>Carbon Capture</i> .....	61
Gambar 4.15 Alat Uji <i>Carbon Capture</i> dan Sumber Emisi Gas CO <sub>2</sub> .....	61
Gambar 4.16 Grafik Data Hasil Uji <i>Carbon Capture Running</i> 1 .....	62
Gambar 4.17 Grafik Data Hasil Uji <i>Carbon Capture Running</i> 2.....	62
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Data Adsorpsi CO <sub>2</sub> .....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Orthogonal Array</i> Taguchi L9 .....	23
Tabel 3.1 Jadwal penelitian.....	28
Tabel 3.2. Parameter dan level.....	33
Tabel 3.3 Tata letak eksperimental dan distribusi faktor <i>orthogonal array</i> (L9) .	33
Tabel 3.4 Variasi komposisi bahan, parameter dan pengujian.....	39
Tabel 4.1 Perancangan Parameter .....	41
Tabel 4.2 <i>Orthogonal Array</i> L9 .....	42
Tabel 4.3 Hasil Porositas Komposit HA/SiO <sub>2</sub> Berpori .....	42
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Rata-Rata dan SNR .....	44
Tabel 4.5 Respon Nilai Rata-Rata.....	45
Tabel 4.6 Anova Rata-Rata .....	47
Tabel 4.7 Respon Nilai SNR.....	48
Tabel 4.8 Nilai Setting Level .....	49
Tabel 4.9 Hasil uji porositas eksperimen konfirmasi.....	51
Tabel 4.10 Data Nilai Densitas dan Porositas Komposit Berpori HA/SiO <sub>2</sub> dengan <i>Space Holder</i> Kacang Hijau.....	54
Tabel 4.11 Data Hasil Kemampuan Adsorpsi CO <sub>2</sub> .....	63



## DAFTAR SIMBOL

$\rho$ apparent	: Densitas aktual ( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho$ fluida	: Densitas fluida ( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho$ teoritis	: Densitas teoritis ( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho$ relatif	: Densitas relative ( $\text{kg/m}^3$ )
W udara	: Berat spesimen di udara (kg)
W fluida	: Berat spesimen didalam fluida (kg)
V <sub>m</sub>	: Berat <i>matriks</i> %(g)
V <sub>f</sub>	: Berat <i>reinforced</i> % (g)
$\rho_m$	: Densitas <i>matriks</i> ( $\text{g/cm}^3$ )
$\rho_f$	: Densitas <i>reinforced</i> ( $\text{g/cm}^3$ )
$\Phi$	: Porositas (%)



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Form Formulir Konsultasi Proposal atau Tugas Akhir .....	71
Lampiran 2. Hasil Akhir Similaritas (Turnitin) .....	72
Lampiran 3. Surat Pernyataan Bebas Plagiarisme .....	73
Lampiran 4. Respons Perbaikan Sidang Sarjana.....	74
Lampiran 5. Form Pengecekan Format Tugas Akhir.....	76





# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pemanasan global, sudah menjadi masalah global karena hampir setiap orang di dunia mengalaminya atau mengalaminya. Sebelumnya, masalah pemanasan global seolah-olah tidak diperhatikan dan dianggap sebagai hal biasa dalam kehidupan dan interaksi manusia. Meskipun demikian, pemanasan global mulai mendapatkan perhatian yang lebih besar berkat berbagai penelitian atau penelitian dan ditandai dengan berbagai tanda-tanda dan efek. (Riyanto, 2007).

Secara alami, ketika cahaya matahari mengenai bumi yang mana akan berubah menjadi panas dan menghangatkan bumi. Sebagian panas ini nantinya dipantulkan kembali ke angkasa oleh radiasi infra merah gelombang panjang, yang diserap oleh gas rumah kaca seperti karbondioksida, uap air, dan metana. Karena situasinya mirip dengan rumah kaca, peristiwa ini disebut Efek Rumah Kaca karena panas yang masuk terperangkap di dalamnya dan tidak dapat menembus ke luar, membuat rumah kaca menjadi hangat. Hal ini terjadi karena adanya kenaikan emisi gas CO<sub>2</sub> yang disebabkan oleh peningkatan BBM serta bahan bakar organik lain sehingga diabsorpsi oleh flora dan fauna laut (Pratama, 2019).

Badan dunia yang bekerja dalam bidang pemanasan global (IPCC, 2005) Menurut mereka, konsentrasi CO<sub>2</sub> di area atmosfer terus meningkat. Yang tadinya sekitar 280 ppm menjadi 379 dan terus meningkat dengan kecepatan 1,9 ppm setiap tahunnya. Diperkirakan suhu global akan terus meningkat hingga 1,8 sampai 2,9 derajat celcius per tahun 2100 (Adib, 2014).

Oleh karena itu, pengurangan emisi gas CO<sub>2</sub> dapat dicapai melalui pemisahan gas CO<sub>2</sub> dari sumbernya. Adsorpsi karbon adalah proses di mana

CO<sub>2</sub> dihilangkan dari aliran gas buang yang terdiri dari berbagai bahan seperti udara, air, dan CO<sub>2</sub> melalui adsorben yang terbuat dari kalsium padat sebelum dilepaskan ke lingkungan. (Wang dkk., 2015, Sreedhar dkk., 2017).

Karena reaktivitasnya yang tinggi terhadap CO<sub>2</sub>, bahan berbasis kalsium oksida (CaO) bersuhu tinggi sering digunakan sebagai adsorben. Dengan kandungan kalsium sebesar 85,84%, tulang sapi dapat digunakan untuk mensintesis hidroksiapatit. Hidroksiapatit, yang memiliki rumus kimia Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>, adalah bahan biokeramik yang terbentuk dari ikatan kimia serta merupakan komponen penyusun tulang hewan (Gunawan dkk., 2013). Hidroksiapatit bisa didapatkan dari bahan organik dan anorganik. Batuan yang mengandung posfat adalah contoh batuan anorganik, sedangkan bahan organik seperti cangkang telur, kerang, tulang ikan, dan sapi adalah contoh bahan organik (Gunawan dkk., 2019, Arifin dkk., 2022).

Berdasarkan temuan tersebut, penulis mengambil skripsi / tugas akhir dengan judul : **“OPTIMASI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub> BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER* KACANG HIJAU DENGAN METODE TAGUCHI SEBAGAI ADSORPSI KARBON DIOKSIDA”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Hidroksiapatit (HA) dianggap sebagai adsorben yang menjanjikan untuk menghilangkan logam berat, pewarna, dan berbagai polutan lainnya. Penelitian mengenai penggunaan HA sebagai adsorben semakin diminati karena karakteristik dan struktur uniknya, yang meliputi kemampuan pertukaran ion, kelarutan rendah dalam air, stabilitas termal yang tinggi, serta afinitas adsorpsi yang kuat terhadap banyak jenis polutan (Amenaghawon dkk., 2022).

Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi pembuatan komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori dengan disintering pada suhu 850° - 1000° C dan ditahan dalam waktu 90 - 150 menit yang mengakibatkan menghilangnya space holder

dan terbentuknya porositas pada komposit HA/SiO<sub>2</sub> guna sebagai adsorben CO<sub>2</sub> emisi gas buang kendaraan bermotor serta metode Taguchi dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam adsorpsi CO<sub>2</sub>. Sebelumnya hidroksiapatit belum pernah dimanfaatkan sebagai adsorben CO<sub>2</sub> dan dilakukan optimasi data, lain halnya dengan penelitian ini yang mana akan dilakukan optimasi pembuatan komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori dengan metode Taguchi.

### 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini, sebagai berikut:

1. Material utama hidroksiapatit dari tulang sapi ditambah penguat SiO<sub>2</sub> dan *space holder* berbahan kacang hijau.
2. Menggunakan parameter pengujian metode Taguchi dengan *orthogonal array* L9.
3. Menggunakan parameter komposisi HA sebesar 65%, 70% dan 75%; komposisi *space holder* kacang hijau sebesar 15%, 20%, 25%; temperatur sintering 850° C, 900° C dan 1000° C; *holding time* selama 90 menit, 120 menit dan 150 menit.
4. Emisi CO<sub>2</sub> berasal dari gas buang pembakaran sepeda motor vario 150 cc dalam kondisi *idle*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk melakukan optimasi proses pembuatan komposit HA/SiO<sub>2</sub> dengan metode Taguchi.

2. Untuk menganalisis pengaruh parameter terhadap porositas komposit HA/SiO<sub>2</sub>.
3. Untuk mengkarakterisasi komposit berpori HA/SiO<sub>2</sub> terhadap kemampuan adsorpsi CO<sub>2</sub> pada emisi gas buang kendaraan bermotor.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, adalah :

1. Dapat melakukan optimasi proses pembuatan komposit HA/SiO<sub>2</sub> dengan metode Taguchi.
2. Dapat menganalisis pengaruh parameter terhadap porositas komposit HA/SiO<sub>2</sub>.
3. Dapat mengkarakterisasi komposit berpori HA/SiO<sub>2</sub> terhadap kemampuan adsorpsi CO<sub>2</sub> pada emisi gas buang kendaraan bermotor.
4. Dapat mempelajari cara pembuatan HA/SiO<sub>2</sub> berpori sebagai adsorben CO<sub>2</sub> pada emisi gas buang kendaraan bermotor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adib, M. 2014. Pemanasan Global, Perubahan Iklim, Dampak Dan Solusinya Di Sektor Pertanian. *Biokultur*, 3, 420-429.
- Al-Sanabani, J. S., Madfa, A. A. & Al-Sanabani, F. A. 2013. Application Of Calcium Phosphate Materials In Dentistry. *International Journal Of Biomaterials*, 2013.
- Amenaghawon, A. N., Anyalewechi, C. L., Darmokoesoemo, H. & Kusuma, H. S. 2022. Hydroxyapatite-Based Adsorbents: Applications In Sequestering Heavy Metals And Dyes. *Journal Of Environmental Management*, 302, 113989.
- Amin, M. 2020. Studi Pembuatan Komposit Ha/Sio<sub>2</sub> Berpori Menggunakan Space Holder Ubi Jalar Ungu. Universitas Sriwijaya.
- 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.
- Astuti, W. 2018. *Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa*. Semarang: Unnes Press.
- Budihartono, S. 2012. Pengaruh Pressureless Sintering Komposit Al-Kaolin Terhadap Densitas, Kekerasan Dan Struktur Mikro. *Traksi*, 12.
- Daulay, I. N., Novrizal, D. & Azelya, V. 2013. Analisis Taguchi Dalam Meningkatkan Utilisasi Produksi Pada Industri Crude Palm Oil (Cpo). *Jurnal Ekonomi*, 21.
- Duffy, S. J. 2011. *Environmental Chemistry: A Global Perspective*, Oxford University Press, Usa.
- Enerdata. 2021. Global Energy And CO<sub>2</sub> Data [Online]. Available: <https://www.enerdata.net/research/energy-market-data-co2-emissions-database.html> [Accessed].
- Fadhilah, N., Irhamni, I. & Jalil, Z. 2016. Synthesis Of Natural Hydroxyapatite From Aceh's Bovine Bone. *Journal Of Aceh Physics Society*, 5, 19-21.
- Faradilla, A. R., Yulinawa, H. & Suswantoro, E. Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Adsorben Karbon Monoksida Dan Karbon Dioksida Pada Emisi

- Kendaraan Bermotor. Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan, 2016. 2.1-2.8.
- Farzadi, A., Solati-Hashjin, M., Bakhshi, F. & Aminian, A. 2011. Synthesis And Characterization Of Hydroxyapatite/B-Tricalcium Phosphate Nanocomposites Using Microwave Irradiation. *Ceramics International*, 37, 65-71.
- 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, 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.
- Hedin, N., Andersson, L., Bergström, L. & Yan, J. 2013. Adsorbents For The Post-Combustion Capture Of Co<sub>2</sub> Using Rapid Temperature Swing Or Vacuum Swing Adsorption. *Applied Energy*, 104, 418-433.
- Irvan, M. 2015. Ketahanan Panas Komposit Matrik Phenolic Berpenguat Abu Terbang.
- Kearns, D., Liu, H. & Consoli, C. 2021. Technology Readiness And Costs Of Ccs. *Global Ccs Institute*, 3.
- Marpaung, J. L., Lumintang, R. C. & Sutrisno, A. 2017. Penerapan Metode Anova Untuk Analisis Sifat Mekanik Komposit Serabut Kelapa. *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat*, 6.
- 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.
- Pratama, R. 2019. Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi. *Buletin Utama Teknik*, 14, 120-126.
- Pratiwi, D. K., Arifin, A., Gunawan, Mardhi, A. & Afriansyah 2023. Investigation Of Welding Parameters Of Dissimilar Weld Of Ss316 And Astm A36 Joint Using A Grey-Based Taguchi Optimization Approach. *Journal Of Manufacturing And Materials Processing*, 7, 39.
- Ramadhani, A. F. 2021. Efektivitas Penggunaan Kitosan Sebagai Bahan Bone Regeneration Pada Kasus Periodontitis. *Universitas Hasanuddin*.
- Redha, F., Junaidy, R. & Hasmita, I. 2018. Penyerapan Emisi Co Dan Nox Pada Gas Buang Kendaraan Menggunakan Karbon Aktif Dari Kulit Cangkang Biji Kopi-(Co And Nox Emissions Adsorption In Gas Vehicles Using Activated Carbon From Coffee Bean Shell). *Biopropal Industri*, 9, 37-47.

- Riyanto, R. 2007. Strategi Mengatasi Pemanasan Global (Global Warming). Value Added: Majalah Ekonomi Dan Bisnis, 3.
- Sehabudin, S. 2011. Penambatan Karbon Dioksida Dan Pengaruh Densitas Alga Air Tawar (*Chlorella Sp.*) Terhadap Pengurangan Emisi Karbon Dioksida. Skripsi. Program Studi Kimia Fakultas Sains Dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- 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.
- Wang, T., Hovland, J. & Jens, K. J. 2015. Amine Reclaiming Technologies In Post-Combustion Carbon Dioxide Capture. J Environ Sci (China), 27, 276-89.
- Wang, W., Qi, H., Liu, P., Zhao, Y. & Chang, H. 2018. Numerical Simulation Of Densification Of Cu–Al Mixed Metal Powder During Axial Compaction. Metals, 8, 537.
- Webley, P., Singh, R. & Xiao, P. 2017. Adsorption Processes For CO<sub>2</sub> Capture: An Overview. CO<sub>2</sub> Summit Iii: Pathways To Carbon Capture, Utilization, And Storage Deployment.
- 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.