

# SKRIPSI

## STUDI PEMBUATAN KOMPOSIT $HA/SiO_2$ BERPORI MENGUNAKAN *SPACE HOLDER* KACANG HIJAU SEBAGAI MATERIAL ADSORPSI $CO_2$



Oleh:

MUHAMMAD YOGA FADILLAH

03051382025095

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024



**SKRIPSI**

**STUDI PEMBUATAN KOMPOSIT  $HA/SiO_2$  BERPORI  
MENGUNAKAN *SPACE HOLDER* KACANG HIJAU  
SEBAGAI MATERIAL ADSORPSI  $CO_2$**

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



**OLEH**

**MUHAMMAD YOGA FADILLAH**

**03051382025095**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**



## HALAMAN PENGESAHAN

### STUDI PEMBUATAN KOMPOSIT $HA/SiO_2$ BERPORI MENGUNAKAN *SPACE HOLDER* KACANG HIJAU SEBAGAI MATERIAL ADSORPSI $CO_2$

#### SKRIPSI

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

Oleh:

**MUHAMMAD YOGA FADILLAH**

**03051382025095**

Palembang, 5 Maret 2024

Diperiksa dan disetujui oleh  
Pembimbing Skripsi



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

**Gunawan, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP. 197901052003121002**



JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.  
Diterima Tanggal  
Paraf

: 005/TM/AK/2024

: 13 MARET 2024

: 

SKRIPSI

NAMA : MUHAMMAD YOGA FADILLAH  
NIM : 03051382025095  
JURUSAN : TEKNIK MESIN  
JUDUL SKRIPSI : STUDI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub>  
BERPORI MENGGUNAKAN SPACE HOLDER  
KACANG HIJAU SEBAGAI MATERIAL  
ADSORPSI CO<sub>2</sub>  
DIBUAT TANGGAL : 15 JULI 2023  
SELESAI TANGGAL : 23 JANUARI 2024

Palembang, Februari 2024

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin  


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

NIP. 197112251997021001



Gunawan, S.T., M.T.

NIP. 19770507200112100





## HALAMAN PERSETUJUAN

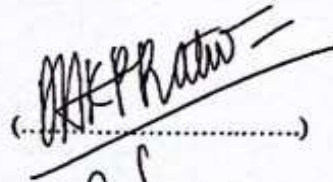
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul "STUDI PEMBUATAN KOMPOSIT  $HA/SiO_2$  BERPORI MENGGUNAKAN SPACEHOLDER KACANG HIJAU SEBAGAI MATERIAL ADSORPSI  $CO_2$  " telah dipertahankan di hadapan Tim penguji karya tulis ilmiah Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 29 Februari 2024.

Indralaya, 29 Februari 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Proposal Skripsi:

Ketua:

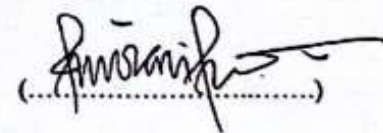
1. Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, M.T.  
NIP. (196307191990032001)

  
(.....)

Anggota:

2. Akbar Teguh Prakoso, S.T., M.T.  
NIP. (199204122022031009)
3. Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. (197909272003121004)

  
(.....)

  
(.....)

Mengetahui

  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

Dosen Pembimbing



Gunawan, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19770507200112100



## KATA PENGANTAR

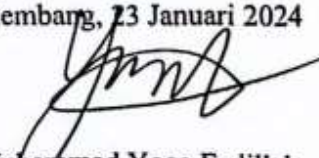
Puji dan syukur kehadirat Allah SWT, atas dengan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik yang berjudul “Studi Pembuatan Komposit HA/SiO<sub>2</sub> Berpori Menggunakan Space Holder Kacang Hijau Sebagai Material Adsorpsi CO<sub>2</sub>”.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam penyusunan 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. Terimakasih kepada kedua orang tua saya bapak Tishanudin dan ibu saya Nuraini dan teman-teman saya yang selalu memberi semangat dan dukungan agar saya mampu menyelesaikan kuliah ini dengan baik.
2. Terimakasih kepada Ketua Jurusan bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. dan dosen-dosen serta staff Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah membekali saya dengan ilmu yang bermanfaat sebelum menyusun skripsi ini.
3. Terimakasih kepada bapak Gunawan, S.T, M.T, Ph.D yang merupakan pengajar sekaligus dosen pembimbing saya.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi dalam dunia Pendidikan dan industri.

Palembang, 23 Januari 2024



Muhammad Yoga Fadillah  
NIM 03051382025095



## HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Yoga Fadillah

NIM : 03051382025095

Judul : STUDI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub> BERPORI  
MENGUNAKAN *SPACE HOLDER* KACANG HIJAU SEBAGAI  
MATERIAL 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, 20 Maret 2024



Muhammad Yoga Fadillah  
NIM. 03051382025095



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Yoga Fadillah

NIM : 03051382025095

Judul : STUDI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub> BERPORI  
MENGUNAKAN *SPACE HOLDER* KACANG HIJAU SEBAGAI  
MATERIAL 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.



Muhammad Yoga Fadillah  
NIM. 03051382025095





## RINGKASAN

STUDI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub> BERPORI MENGGUNAKAN  
*SPACE HOLDER* KACANG HIJAU SEBAGAI MATERIAL ADSORPSI CO<sub>2</sub>

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 29 Februari 2024

Muhammad Yoga Fadillah, dibimbing oleh Gunawan, S. T., M. T.

Xxxiii + 67 Halaman, 24 Gambar, 8 Tabel

Perkembangan pesat dalam bidang penangkapan karbon di udara menunjukkan kemajuan besar dalam upaya menanggulangi perubahan iklim. Teknik ini memungkinkan pengurangan emisi karbon dioksida secara langsung dari sumbernya, yang menghasilkan solusi inovatif untuk mengatasi dampak negatif dari perubahan iklim. Kemajuan ini berkontribusi pada tingkat nasional dan internasional. Penangkapan karbon tidak hanya berfungsi sebagai teknologi pengurangan emisi, tetapi juga memainkan peran penting dalam pemenuhan komitmen global untuk mitigasi perubahan iklim. Salah satu kelebihan hidroksiapatit adalah bahwa itu dapat digunakan sebagai katalis adsorpsi serta dapat ditemukan dengan mudah dalam bahan seperti tulang sapi, silika, dan ubi jalar ungu. Metode adsorpsi dipilih karena peristiwa saling berkontak dari porositas di dalam padatan pelet dengan gas CO<sub>2</sub> sehingga sebagian CO<sub>2</sub> tertinggal di dalam padatan keramik yang berpori yang mengakibatkan perubahan komposisi fluida udara yang lebih bersih. Tujuan pembuatan hidroksiapatit dari tulang sapi adalah untuk digunakan sebagai filter berpori dan mengurangi limbah tulang sapi. Metode serbuk menghasilkan komposit hidroksiapatit dari bahan baku limbah tulang sapi yang telah dikalsinasi pada 800°C, serbuk silika (SiO<sub>2</sub>) dan serbuk ubi jalar ungu yang telah dipanaskan untuk menahan ruang sementara pada keramik berpori. Serbuk yang dipakai memiliki spesifikasi dengan ukuran 300 mesh (0,044 mm). Pembuatannya mencakup kalsinasi dengan oven listrik, *ball milling*, *sieving* 300, *mixing* menggunakan *ball milling*, kompaksi menggunakan alat kompaksi dengan tekanan 150 MPa selama 10 menit dan proses sintering pada 900°C. Pengujian yang dilakukan seperti pengujian densitas dimaksudkan untuk mengetahui

persentase banyak porositas yang terbentuk pada komposit berpori 75, 80, 85% HA/25, 20, 15% SiO<sub>2</sub>, pengujian *X-ray diffraction* dimaksudkan untuk menunjukkan fasa yang terbentuk pada komposit, pengujian scanning electron microscopy dimaksudkan untuk memvisualisasikan bentuk, interkoneksi dan ukuran pori yang terbentuk, pembuatan alat karbon *capture* serta pengujian karbon *capture* keramik berpori dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan keramik berpori HA/SiO<sub>2</sub> dalam mengadsorpsi CO<sub>2</sub>. Dalam penelitian ini, pengujian densitas mengungkapkan bahwa porositas rata-rata mengalami peningkatan sejalan dengan penurunan komposisi HA. Analisis difraksi sinar X menunjukkan keberadaan tiga fasa yang signifikan, yakni fasa hidroksiapatit, fasa β-TCP dan fasa silika yang memperkuat komposit. Selanjutnya, pengujian SEM yang dilakukan pada dua titik mengindikasikan bahwa pori yang terbentuk pada perbesaran 2000x yaitu mulai dari 2,3-22,39 μm dalam penelitian ini. Lebih lanjut, pengujian karbon *capture* menunjukkan kemampuan keramik berpori HA/SiO<sub>2</sub> dalam mengadsorpsi CO<sub>2</sub> rata-rata sebesar 44,7% (691,96 ppm).

**Kata kunci :** *carbon capture*, hidroksiapatit, tulang sapi, porositas

## SUMMARY

STUDY OF MANUFACTURING A POOR HA/SiO<sub>2</sub> COMPOSITE USING GREEN BEAN *SPACE HOLDER* AS CO<sub>2</sub> ADSORPTION MATERIAL

SRIWIJAYA UNIVERSITY

Scientific writing in the form of a thesis, February 29, 2024

Muhammad Yoga Fadillah: Guided by Gunawan, S.T., M.T.

Xxxiii + 67 pages, 24 figures, 8 tables

Rapid developments in the field of airborne carbon capture represent major progress in efforts to combat climate change. This technique enables the reduction of carbon dioxide emissions directly at the source, resulting in innovative solutions to address the negative impacts of climate change. This progress contributes at the national and international levels. Carbon capture not only serves as an emissions reduction technology, but also plays an important role in meeting global commitments to mitigate climate change. One of the advantages of hydroxyapatite is that it can be used as an adsorption catalyst and can be found easily in materials such as beef bone, silica, and purple sweet potato. The adsorption method was chosen because the porosity in the pellet solid comes into contact with CO<sub>2</sub> gas so that some of the CO<sub>2</sub> remains in the porous ceramic solid which results in a change in the composition of the air fluid to make it cleaner. The purpose of making hydroxyapatite from beef bones is to use it as a porous filter and reduce cattle bone waste. The powder method produces a hydroxyapatite composite from cattle bone waste which has been calcined at 800°Celsius, silica powder (SiO<sub>2</sub>) and purple sweet potato powder which has been heated to hold a temporary space in the porous ceramic. The powder used has specifications with a size of 300 mesh (0.044 mm). The manufacture includes calcination using an electric oven, ball milling, sieving 300, mixing using ball milling, compaction using a compactor with a pressure of 150 MPa for 10 minutes and a sintering process at 900°C. Tests carried out such as density testing are intended to determine the percentage of porosity formed in the porous composite 75, 80, 85% HA/25, 20, 15% SiO<sub>2</sub>, X-ray diffraction testing is intended to show the phases formed in the composite, scanning electron testing

microscopy is intended to visualize the shape, interconnection and size of the pores formed, making carbon capture tools and testing carbon capture of porous ceramics is intended to determine the ability of HA/SiO<sub>2</sub> porous ceramics to adsorb CO<sub>2</sub>. In this study, density testing revealed that the average porosity increased as the HA composition decreased. X-ray diffraction analysis shows the presence of three significant phases, namely the hydroxyapatite phase, the β-TCP phase and the silica phase which strengthens the composite. Furthermore, SEM testing carried out at two points indicated that the pores formed at 2000x magnification ranged from 2.3-22.39 μm in this study. Furthermore, carbon capture testing showed the ability of HA/SiO<sub>2</sub> porous ceramics to adsorb CO<sub>2</sub> on average of 44.7% (691.96 ppm).

**Keywords:** carbon capture, hydroxyapatite, cow bone, porosity





## DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGERTITAS .....	xv
RINGKASAN .....	xvii
SUMMARY .....	xix
DAFTAR ISI.....	xxiii
DAFTAR GAMBAR .....	xxvii
DAFTAR TABEL.....	xxix
DAFTAR SIMBOL.....	xxxii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxxiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan Masalah.....	3
1.3    Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1.4    Tujuan Penelitian .....	4
1.5    Manfaat Penelitian .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1    Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) .....	7
2.2    CO <sub>2</sub> Capture and Storage (CCS).....	10
2.3    Tulang Sapi .....	11
2.4    Adsorpsi .....	12
2.5    Material Adsorpsi .....	12
2.5.1    Carbonat Dioxide (CaO) .....	13
2.5.2    Karbon Aktif .....	13
2.5.3    Hidroksiapatit (HA) .....	14
2.6    Metode Sintesis Hidroksiapatit.....	14
2.6.1    Metode Pengendapan Basah .....	14

2.6.2	Metode Hidrotermal .....	15
2.6.3	Metode Kalsinasi .....	15
2.7	Kacang Hijau ( <i>Space holder</i> ) .....	16
2.8	Sintering .....	17
2.9	<i>Uni Axial Die Pressing</i> .....	18
2.10	Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....	19
2.11	Keramik Berpori .....	20
2.12	Alat Monitor CO <sub>2</sub> <i>Capture</i> Berbasis Mikrokontroler .....	21
2.12.1	Arduino Uno R3 .....	21
2.12.2	LCD 16X2 I2C .....	22
2.12.3	Sensor MQ-135 .....	22
2.12.4	<i>Wiring Diagram &amp; Coding</i> .....	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		25
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	25
3.2	Alat dan Bahan .....	26
3.2.1	Alat .....	26
3.2.2	Bahan .....	26
3.3	Preparasi Adsorben Keramik Hidroksiapatit Berpori .....	27
3.4	Prosedur Penelitian .....	27
3.4.1	Preparasi Hidroksiapatit (Matrix) .....	27
3.4.2	Preparasi Penguat (Silika) .....	28
3.4.3	Preparasi Porogen .....	28
3.4.4	Pembuatan Keramik Hidroksiapatit/Silika Berpori .....	28
3.4.5	Pembuatan Alat Uji Karbon <i>Capture</i> .....	29
3.5	Metode Pengujian .....	29
3.5.1	Metode <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	29
3.5.2	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	30
3.5.3	Pengujian Densitas .....	30
3.5.4	Pengujian Karbon <i>Capture</i> .....	32
3.6	Analisis dan Pengolaan Data .....	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		33
4.1	Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	33
4.1.1	Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> Tulang Sapi .....	33
4.1.2	Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> SiO <sub>2</sub> .....	34





4.1.3	Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> Keramik Berpori HA/SiO <sub>2</sub> .....	35
4.2	Pengujian Porositas .....	36
4.3	Pengujian SEM.....	39
4.4	Pengukuran Penyusutan .....	40
4.5	Desain Alat Uji Karbon <i>Capture</i> .....	41
4.5.1	2-D Model .....	42
4.5.2	Skema <i>Wiring</i> .....	42
4.5.3	Koding Arduino.....	44
4.5.4	Kalibrasi Alat Uji Karbon <i>Capture</i> .....	45
4.6	Hasil Pengujian Karbon <i>Capture</i> .....	46
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....		53
LAMPIRAN .....		61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. CO <sub>2</sub> trap dengan <i>post combustion</i> (Oexmann dkk., 2012) .....	10
Gambar 2. Sintering Metalurgi Serbuk .....	17
Gambar 3. Analisis TGA dari kacang hijau (Arifin dkk., 2022).....	17
Gambar 4. Proses Kompaksi (Arifvianto dan Zhou, 2014) .....	19
Gambar 5. Papan Arduino Uno R3 (Oo, 2020).....	21
Gambar 6. Penggunaan i2C pada LCD 16X2 .....	22
Gambar 7. Sensor CO <sub>2</sub> MQ-135 .....	23
Gambar 8. Rangkaian alat uji karbon <i>capture</i> .....	23
Gambar 9. Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 10. Alat pengujian densitas .....	31
Gambar 11. Grafik Hasil XRD Tulang Sapi .....	33
Gambar 12. Hasil X-RD SiO <sub>2</sub> .....	34
Gambar 13. Referensi Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> SiO <sub>2</sub> (Musić dkk., 2011) .....	35
Gambar 14. Hasil XRD Kerami Berpori HA/SiO <sub>2</sub> temperatur 900°C .....	35
Gambar 15. Berat Keramik Berpori di Udara .....	36
Gambar 16. Berat Keramik Berpori di Air.....	36
Gambar 17. Grafik Porositas Keramik Berpori HA/SiO <sub>2</sub> ( <i>Space holder</i> %wt)....	38
Gambar 18. Hasil Analisis SEM Keramik Berpori 75% HA/25% SiO <sub>2</sub> dengan perbesaran 2000x di titik pertama .....	39
Gambar 19. Hasil Analisis SEM Keramik Berpori 75% HA/25% SiO <sub>2</sub> dengan perbesaran 2000x di titik kedua .....	40
Gambar 20. 2-D Alat Karbon <i>Capture</i> .....	42
Gambar 21. Arsitektur 2-D Pemasangan Kabel Terhadap Sensor, LCD dan Arduino Uno .....	43
Gambar 22. Grafik Data Hasil Adsorpsi CO <sub>2</sub> ke-1 .....	47
Gambar 23. Grafik Data Hasil Adsorpsi CO <sub>2</sub> ke-2 .....	47
Gambar 24. Grafik Data Hasil CO <sub>2</sub> yang Tersisa .....	47



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Dampak CO <sub>2</sub> pada manusia (Rice, 2003) .....	9
Tabel 2 Kandungan Kacang hijau (Triwitono dkk., 2017) .....	16
Tabel 3 Parameter Penelitian .....	32
Tabel 4. Data Nilai Densitas dan Porositas Keramik Berpori HA/SiO <sub>2</sub> dengan <i>Space Holder</i> Kacang Hijau.....	38
Tabel 5 Data Penyusutan Keramik Berpori HA/SiO <sub>2</sub> .....	41
Tabel 6. Petunjuk Pemasangan Kabel.....	43
Tabel 7 Hasil Perbandingan Alat Uji Karbon Capture dengan Kigaz 300 Pro .....	46
Tabel 8. Data Hasil Pembacaan Penangkapan CO <sub>2</sub> .....	48



## DAFTAR SIMBOL

$\rho_{\text{apparent}}$  = densitas aktual ( $\text{g/cm}^3$ )

$W_{\text{udara}}$  = berat spesimen di udara (g)

$\rho_{\text{fluida}}$  = densitas fluida ( $\text{g/cm}^3$ )

$W_{\text{fluida}}$  = berat spesimen di dalam fluida (g)

$\rho_{\text{teoritis}}$  = densitas teoritis ( $\text{g/cm}^3$ )

$V_m$  = berat matriks % (g)

$V_f$  = berat reinforced % (g)

$\rho_m$  = densitas matriks ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_f$  = densitas reinforced ( $\text{g/cm}^3$ )

$\Phi$  = porositas

$\rho_{\text{relative}}$  = densitas relatif





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Form Formulir Konsultasi Proposal atau Tugas Akhir .....	61
Lampiran 2. Hasil Akhir Similaritas (Turnitin) .....	62
Lampiran 3. Surat Pernyataan Bebas Plagiarisme .....	64
Lampiran 4. Respon Perbaikan Sidang Sarjana .....	65
Lampiran 5. Form Pengecekan Format Tugas Akhir.....	68



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang penangkapan karbon diudara sudah tumbuh dengan sangat pesat. Penangkapan karbon dapat secara langsung mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dari sumbernya di udara. Perkembangan ini sangat penting dalam upaya memenuhi kebutuhan mitigasi perubahan iklim secara nasional dan internasional (Martin-Roberts dkk., 2021). Penyebab utama yang menyebabkan semakin parahnya perubahan iklim menurut (Foster dkk., 2017) adalah CO<sub>2</sub>, peningkatan iklim ini secara nyata di hasilkan terutama oleh aktivitas pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara dan gas lpg karena besarnya efek negatif gas ini terhadap lingkungan, penangkapan emisi gas CO<sub>2</sub> menjadi perhatian yang menarik untuk di bahas. Berbagai metode dapat digunakan seperti proses kriogenik, proses membran dan adsorpsi yang di pakai untuk menangkap CO<sub>2</sub> diudara (Kammerer dkk., 2023).

Metode adsorpsi dipilih karena peristiwa saling berkontak dari porositas di dalam padatan pelet dengan gas CO<sub>2</sub> sehingga sebagian CO<sub>2</sub> tertinggal di dalam padatan pelet yang berpori yang mengakibatkan perubahan komposisi fluida udara yang lebih bersih (Kusumawati dan Nur, 2015). Porositas merupakan pori-pori yang muncul diantara material yang dihasilkan dari adanya degradasi material penyangga ruang seiring dengan meningkatnya suhu, pori juga dapat disesuaikan dalam bentuk ukuran dan kerapatannya. Ukuran dan kerapatan dari serbuk HA sangat berpengaruh seiring dengan kapasitas kemampuan penangkapan CO<sub>2</sub>, semakin halus partikel HA dan semakin tinggi porositas maka akan semakin besar kapasitas penangkapan CO<sub>2</sub> (Castilho dkk., 2013). Bahan yang dapat diandalkan dalam pembuatan pelet padatan adalah hidroksiapatit organik Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub> yang biasa ditemui sebagai senyawa didalam tulang makhluk hidup seperti cangkang telur, kerang, sisik ikan dan

tulang sapi. Selain itu hidroksiapatit dapat ditemui dari sumber anorganik seperti bebatuan posfat (Arifin dkk., 2022).

Senyawa HA juga sangat mudah untuk terdekomposisi melalui proses pemanasan pada suhu rentang 600°C hingga 1000°C, tulang sapi mengalami sintesis yang menghasilkan hidroksiapatit murni. Observasi pada berbagai suhu pemanasan menunjukkan bahwa seiring dengan peningkatan suhu, terjadi peningkatan signifikan dalam kristalinitas hidroksiapatit. Hal ini menunjukkan bahwa hidroksiapatit yang dihasilkan dari tulang sapi menjadi semakin murni dan kristalin semakin tinggi seiring dengan kenaikan suhu proses pemanasan (Arifin dkk., 2022).

Hidroksiapatit (HA) terkandung sekitar 85% di dalam tulang sapi memiliki kemampuan luar biasa untuk menangkap karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) melalui mekanisme pembentukan apatit karbonat ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ ) di dalam struktur pori-pori HA. Proses ini tidak hanya menciptakan suatu bentuk karbonat yang stabil, tetapi juga meningkatkan berat badan HA sebesar 216 gram. Fenomena ini menunjukkan bahwa HA tidak hanya berfungsi sebagai penangkap  $\text{CO}_2$  yang efektif, tetapi juga memiliki kapasitas penyerapan yang signifikan. Hidroksiapatit juga memiliki stabilitas termal yang tinggi selama beberapa siklus pelepasan karbonasi, menunjukkan bahwa HA tidak hanya efisien dalam menangkap  $\text{CO}_2$ , tetapi juga mampu mempertahankan kinerjanya dalam kondisi termal yang berfluktuasi (Ojeda-Niño dkk., 2017).

Selain itu, kemampuan HA untuk menangkap  $\text{CO}_2$  dari HA menciptakan potensi penggunaan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Dengan performa yang konsisten dan daya tahan terhadap perubahan termal, HA muncul sebagai kandidat yang menjanjikan dalam upaya pengurangan emisi gas rumah kaca. Temuan ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan bahan-bahan penangkap  $\text{CO}_2$  yang efisien dan berkelanjutan, membawa kita lebih dekat kepada solusi untuk masalah perubahan iklim global. Dibandingkan dengan batu gamping, tulang ikan, cangkang telur ayam, atau tulang sapi, tulang sapi memiliki karakteristik mirip keramik dengan tingkat keefektifan termal yang lebih tinggi serta untuk pembuatan sintesis hidroksiapatit lebih mudah. Pembuatan hidroksiapatit didapat dari limbah tulang sapi yang berasal dari

warung bakso. Selanjutnya cuci tulang sampai bersih, rebus tulang sapi untuk mengangkat noda minyak yang menempel, keringkan tulang di sinar matahari langsung, potong dadu tulang sapi untuk meratakan proses kalsinasi pada temperatur 800°C, setelah itu tulang di haluskan dengan mortar dan *ball milling* sampai menjadi serbuk, serbuk tersebut ialah hidroksiapatit yang dimanfaatkan sebagai bahan adsorben CO<sub>2</sub>. Berdasarkan potensi tersebut penulis mengambil tugas akhir / skripsi **“STUDI PEMBUATAN KOMPOSIT HA/SiO<sub>2</sub> BERPORI MENGGUNAKAN SPACE HOLDER KACANG HIJAU SEBAGAI MATERIAL ADSORPSI CO<sub>2</sub>”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Teknologi berbasis serapan berbahan hidroksiapatit (HA) memiliki tingkat kepercayaan operasional yang tinggi dan dianggap sebagai pilihan paling menarik untuk menangkap CO<sub>2</sub>. Dalam penelitian ini penggunaan apatit sebagai bahan penyerap baru untuk penyerapan CO<sub>2</sub> pada suhu tinggi dimana aktivitas HA tidak menurun seiring dengan jumlah siklus pada setiap suhu pengujian serta senyawa HA juga sangat mudah untuk terdekomposisi melalui proses pemanasan pada suhu rentang 600°C hingga 1000°C, tulang sapi mengalami sintesis yang menghasilkan hidroksiapatit murni. Stabilitas waktu ini memungkinkan penggunaan apatit sebagai penyerap CO<sub>2</sub> dalam jumlah siklus berulang yang tinggi tanpa mengubah kemampuan penyerapannya (Landi dkk., 2014). Pada penelitian ini, variasi komposisi hidroksiapatit sebagai matriks, silika sebagai penguat dan kacang hijau berperan sebagai porogen yang akan dibuat komposit berupa filter dengan bentuk silinder berdiameter 10mm akan dilakukan analisis kemampuan dalam menghasilkan pori-pori dengan menggunakan metode pengukuran archimides serta akan dilakukan analisis kemampuan maksimal dalam penangkapan CO<sub>2</sub> dengan memanfaatkan pori-pori yang muncul di dalam filter menggunakan metode pengukuran dengan sensor gas CO<sub>2</sub> berbasis mikrokontroler.

### 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Pada penelitian ini batasan masalah sebagai berikut :

1. Matriks dalam penelitian ini adalah Hydroxyapatite (HA) dengan berat 75% 80% dan 85%.
2. Penguat menggunakan SiO<sub>2</sub> (silika) dengan berat 15%, 20% dan 25%.
3. Porogen yang digunakan di penelitian ini adalah kacang hijau 20% dari % berat total komposit
4. Alat mortar laboratorium dan *ball milling* untuk mengubah tulang menjadi serbuk yang halus.
5. Menggunakan suhu sintering sebesar 600°C ditahan 30 menit kemudian pada 900°C ditahan selama 120 menit dan laju panas sebesar 5°C/min.
6. Menggunakan mikrokontroler arduino serta dua buah sensor gas CO<sub>2</sub> MQ-135 sebagai alat uji karbon *capture*.
7. Analisis pengujian dalam penelitian ini adalah pengujian densitas, *X-Ray Diffraction*, SEM dan karbon *capture*.
8. Gas polutan CO<sub>2</sub> berasal dari gas buang kendaraan motor honda vario 150cc dengan kondisi mesin putaran idle dan temperatur 50°C.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk membuat filter komposit HA/SiO<sub>2</sub> berpori dengan menggunakan pemegang ruang berupa kacang hijau
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi terhadap terbentuknya pori-pori di dalam filter
3. Untuk menganalisis kemampuan pori-pori filter dalam menyerap CO<sub>2</sub>.
4. Untuk mengembangkan prototipe alat uji karbon *capture* berbasis arduino.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini antara lain :

1. Mengkaji cara pembuatan keramik HA/SiO<sub>2</sub> berpori yang baik.
2. Sebagai penelitian yang memberikan ilmu pengetahuan secara akademis
3. Mengetahui sifat fisik dan kimia keramik HA/SiO<sub>2</sub> berpori
4. Sebagai referensi penelitian yang relevan
5. Sebagai cara baru dalam membuat katalis adsorben dengan bahan hidroksiapatit silika.
6. Pengembangan terhadap alat uji karbon *capture* dengan menggunakan arduino.





## DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, F., Amelia, R., Hudatwi, M. dan Tiandho, Y. Hydroxyapatite from Natural Sources: Methods And Its Characteristics. Iop Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. Iop Publishing, 012055.
- Anastasescu, C., Anastasescu, M., Teodorescu, V. S., Gartner, M. dan Zaharescu, M. 2010. Sio<sub>2</sub> Nanospheres and Tubes Obtained By Sol–Gel Method. Journal Of Non-Crystalline Solids, 356, 2634-2640.
- Arifin, A., Gunawan, Amin, M. W., Mardhi, A., Trycahyono, G. dan Burlian, F. Characterization Porous Ha/Sio<sub>2</sub> Composite Prepared Using Natural Space Holder. Human-Centered Technology for A Better Tomorrow: Proceedings of Humens 2021, 2022. Springer, 279-287.
- Arifin, A., Yani, I. dan 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.
- Arifvianto, B. dan Zhou, J. 2014. Fabrication of Metallic Biomedical Scaffolds with The Space Holder Method: A Review. Materials (Basel), 7, 3588-3622.
- Baharintasari, D. R., Asrori, M. R., Prakasa, Y. F. dan Sumari, S. 2020. Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan Xrf dan Xrd. Fullerene Journal Of Chemistry, 5.
- Bhown, A. S. dan Freeman, B. C. 2011. Analysis and Status of Post-Combustion Carbon Dioxide Capture Technologies. Environmental Science dan Technology, 45, 8624-8632.
- Boot-Handford, M. E., Abanades, J. C., Anthony, E. J., Blunt, M. J., Brandani, S., Mac Dowell, N., Fernández, J. R., Ferrari, M.-C., Gross, R., Hallett, J. P., Haszeldine, R. S., Heptonstall, P., Lyngfelt, A., Makuch, Z., Mangano, E., Porter, R. T. J., Pourkashanian, M., Rochelle, G. T., Shah, N., Yao, J. G. Dan Fennell, P. S. 2014. Carbon Capture and Storage Update. Energy Environ. Sci., 7, 130-189.
- Cahyaningrum, S. E. 2019. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Batu

- Kapur dengan Metode Pengendapan Basah. *Unesa Journal Of Chemistry*, 8.
- Cahyaningrum, S. E. dan Afifah, F. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Tulang Sapi (Bos Taurus) Menggunakan Teknik Kalsinasi *Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite from Cow Bones (Bos Taurus) Using Calcination Techniques. Unesa Journal of Chemistry*, 9, 189-196.
- Castilho, S., Kiennemann, A., Costa Pereira, M. F. dan Soares Dias, A. P. 2013. Sorbents for CO<sub>2</sub> Capture From Biogenesis Calcium Wastes. *Chemical Engineering Journal*, 226, 146-153.
- Febriyanti, R., Zaharah, T. A. dan Wahyuni, N. 2000. Optimasi Waktu Kontak Modifikasi Silika Gel Dari Limbah Kaca Menggunakan Tributylamina. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 3.
- Fernández-González, D., Ruiz-Bustinza, Í., Mochón, J., González-Gasca, C. dan Verdeja, L. F. 2017. Iron Ore Sintering: Process. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 38, 215-227.
- Foster, G. L., Royer, D. L. Dan Lunt, D. J. 2017. Future Climate Forcing Potentially Without Precedent in The Last 420 Million Years. *Nat Commun*, 8, 14845.
- Gunawan, G., Arifin, A., Yani, I. dan 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.
- Han, R., Wang, Y., Xing, S., Pang, C., Hao, Y., Song, C. dan Liu, Q. 2022. Progress in Reducing Calcination Reaction Temperature of Calcium-Looping CO<sub>2</sub> Capture Technology: A Critical Review. *Chemical Engineering Journal*, 450.
- Kammerer, S., Borho, I., Jung, J. dan Schmidt, M. S. 2023. CO<sub>2</sub> Capturing Methods of The Last Two Decades. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 8087-8104.
- Khoo, W., Nor, F. M., Ardhyana, H. dan Kurniawan, D. 2015. Preparation of Natural Hydroxyapatite from Bovine Femur Bones Using Calcination At

- Various Temperatures. *Procedia Manufacturing*, 2, 196-201.
- Kiyoshi, K., Toshinori, M., Takuji, M. dan Young, H. 2009. Preparation of Ion Exchange Polymer and Porous Ceramic for Direct Methanol Fuel Cell. Department of Applied Chemistry, Tokyo Metropolitan University Minami-Ohsawa, Japan.
- Kusumawati, E. dan Nur, D. N. Peningkatan Kualitas Biogas Melalui Proses Adsorpsi Menggunakan Zeolite Alam. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 2015. 50-54.
- Landi, E., Riccobelli, S., Sangiorgi, N., Sanson, A., Doghieri, F. dan Miccio, F. 2014. Porous Apatites as Novel High Temperature Sorbents for Carbon Dioxide. *Chemical Engineering Journal*, 254, 586-596.
- Larasati, A. I., Susanawati, L. D. dan Suharto, B. 2016. Efektivitas Adsorpsi Logam Berat Pada Air Lindi Menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, dan Silika Gel di Tpa Tlekung, Batu. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 2, 44-48.
- Liang, Z., Fu, K., Idem, R. dan Tontiwachwuthikul, P. 2016. Review on Current Advances, Future Challenges and Consideration Issues for Post-Combustion CO<sub>2</sub> Capture Using Amine-Based Absorbents. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24, 278-288.
- Lu, Z., Huang, Z., Jiang, S., Liu, W. dan Zhang, K. 2016. Influencing Factors for The Microstructure and Mechanical Properties of Micro Porous Titanium Manufactured by Metal Injection Molding. *Metals*, 6, 83.
- Ma, L., Qin, C., Pi, S. dan Cui, H. 2020. Fabrication of Efficient and Stable Li<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>-Based Sorbent Pellets Via Extrusion-Spheronization for Cyclic CO<sub>2</sub> Capture. *Chemical Engineering Journal*, 379.
- Martin-Roberts, E., Scott, V., Flude, S., Johnson, G., Haszeldine, R. S. dan Gilfillan, S. 2021. Carbon Capture and Storage at The End of A Lost Decade. *One Earth*, 4, 1569-1584.
- Martin, A. 2010. Adsorpsi Isotermal Karbon Dioksida dan Metana pada Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Subbituminus Indonesia untuk Pemurnian dan Penyimpanan Gas Alam. Universitas Indonesia.
- Musić, S., Filipović-Vinceković, N. dan Sekovanić, L. 2011. Precipitation of

- Amorphous SiO<sub>2</sub> Particles and Their Properties. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28, 89-94.
- Nebath, E., Pang, D. dan Wuwung, J. O. 2014. Rancang Bangun Alat Pengukur Gas Berbahaya Co Dan Co<sub>2</sub> di Lingkungan Industri. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 3, 65-72.
- Niu, W., Bai, C., Qiu, G. dan Wang, Q. 2009. Processing and Properties of Porous Titanium Using Space Holder Technique. *Materials Science and Engineering: A*, 506, 148-151.
- Oexmann, J. 2011. *Post-Combustion Co<sub>2</sub> Capture: Energetic Evaluation of Chemical Absorption Processes in Coal-Fired Steam Power Plants*, Cuvillier Verlag.
- Oexmann, J., Kather, A., Linnenberg, S. dan Liebenthal, U. 2012. *Post - Combustion Co<sub>2</sub> Capture: Chemical Absorption Processes in Coal - Fired Steam Power Plants. Greenhouse Gases: Science And Technology*, 2, 80-98.
- Ojeda-Niño, O. H., Blanco, C. dan Daza, C. E. 2017. High Temperature Co<sub>2</sub> Capture of Hydroxyapatite Extracted from Tilapia Scales. *Universitas Scientiarum*, 22, 215-236.
- Oo, A. 2020. Design, Simulation and Implementation of an Arduino Microcontroller Based Automatic Water Level Controller with I2c Lcd Display. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 9.
- Ooi, C., Hamdi, M. dan Ramesh, S. 2007. Properties of Hydroxyapatite Produced by Annealing of Bovine Bone. *Ceramics International*, 33, 1171-1177.
- Park, J. B. dan Bronzino, J. D. 2002. *Biomaterials: Principles and Applications*.
- Perejón, A., Romeo, L. M., Lara, Y., Lisbona, P., Martínez, A. dan Valverde, J. M. 2016. The Calcium-Looping Technology for Co<sub>2</sub> Capture: on The Important Roles of Energy Integration and Sorbent Behavior. *Applied Energy*, 162, 787-807.
- Pradhana, C. dan Sulaiman, M. 2020. Simulasi Komunikasi Serial dengan Protokol I2c Menggunakan Arduino Ide dan Proteus 8. *Sinarfe7*, 3.
- Pramanik, S., Agarwal, A. K., Rai, K. dan Garg, A. 2007. Development of High

- Strength Hydroxyapatite by Solid-State-Sintering Process. *Ceramics International*, 33, 419-426.
- Purwasasmita, B. S. dan Gultom, R. S. 2008. Sintesis dan Karakterisasi Serbuk Hidroksiapatit Skala Sub-Mikron Menggunakan Metode Presipitasi. *Bionatura*, 10.
- Puspa, K. A. dan Asmi, D. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Biokeramik Hidroksiapatit Bahan Tulang Sapi pada Suhu 800-1100. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 2.
- Puspita, F. W. dan Cahyaningrum, S. E. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Cangkang Telur Ayam Ras (*Gallus Gallus*) Menggunakan Metode Pengendapan Basah. *Unesa Journal of Chemistry*, 6, 100-106.
- Putra, R. L., Oktavia, B., Etika, S. B., Suryelita, S., Nizar, U. K. dan Sundari, R. 2021. Studi Perbandingan Aktivitas Katalitik Cao Cangkang Telur dengan Aktivasi Basa dan Asam dalam Produksi Biodisel. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Scholastic*, 5, 1-6.
- Rahayu, S. dan Siahaan, M. 2018. Karakteristik Raw Material Epoxy Resin Tipe Bqtn-Ex 157 yang Digunakan sebagai Matrik pada Komposit (The Characteristics of Raw Material Bqtn-Ex 157 Epoxy Resin Used as Composites Matrix). *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 15, 151-160.
- Rahmaniah, R. 2019. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara Granosa*) sebagai Bahan Baku Semen Tambal Gigi. *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 13.
- Rani, S. U., Rajarajeswari, S., Jaimon, J. G. dan Ravichandran, R. 2020. Real-Time Air Quality Monitoring System Using Mq-135 and Thingsboard. *Journal of Critical Reviews*, 7, 4107-4115.
- Rice, S. A. Health Effects Of Acute and Prolonged CO<sub>2</sub> Exposure in Normal and Sensitive Populations. *Second Annual Conference on Carbon Sequestration*, 2003. Citeseer, 5-8.
- Rochelle, G. T. 2009. Amine Scrubbing for CO<sub>2</sub> Capture. *Science*, 325, 1652-1654.
- Sontang, M. 2000. Optimasi Hydroxyapatite dalam Tulang Sapi Melalui Proses

- Sintering. Tesis, Universitas Indonesia.
- Ştefan, I., Chiriac, R., Nicolicescu, C. dan Ciobanu, M. 2011. Research on Synthesis of Barium Hexaferrite Powders Processed by Mechanical Alloying. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 13, 883-886.
- Suchanek, W. L. dan Riman, R. E. 2006. Hydrothermal Synthesis of Advanced Ceramic Powders. *Advances in Science and Technology*, 45, 184-193.
- Sudarwanto, H. W., Utami, I. W., Asmoro, R. dan Wulandari, A. A. Bahaya Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Bensin dan Menumbuhkan Lingkungan Hijau di Perkotaan. *Prosiding Seminar Nasional Hukum, Bisnis, Sains dan Teknologi*, 2020. 101-101.
- Supangat, D. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Cangkang Kepiting (*Scylla Serrata*) dengan Metode Pengendapan Basah Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite of Crabs Shell (*Scylla Serrata*) by Wet Application Method. *Unesa Journal of Chemistry*, 6.
- Susana, T. 1988. Karbon Dioksida. *Oseana*, 12, 1-11.
- Sy, M. R. H. dan Mardina, P. 2013. Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi dengan Pelarut Koh. *Konversi*, 2, 28-31.
- Szczęś, A., Hołysz, L. dan Chibowski, E. 2017. Synthesis of Hydroxyapatite for Biomedical Applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 249, 321-330.
- Torres, Y., Pavón, J. dan Rodríguez, J. 2012. Processing and Characterization of Porous Titanium for Implants by Using NaCl as Space Holder. *Journal of Materials Processing Technology*, 212, 1061-1069.
- Triwitono, P., Marsono, Y., Murdiati, A. dan Marseno, D. W. 2017. Isolasi dan Karakterisasi Sifat Pati Kacang Hijau (*Vigna Radiata L.*) Beberapa Varietas Lokal Indonesia. *Agritech*, 37.
- Wang, J., Huang, L., Yang, R., Zhang, Z., Wu, J., Gao, Y., Wang, Q., O'hare, D. dan Zhong, Z. 2014. Recent Advances in Solid Sorbents for CO<sub>2</sub> Capture and New Development Trends. *Energy & Environmental Science*, 7, 3478-3518.
- Wibowo, A. 2015. Analisis Sifat Mekanis Komposit Barium Hexaferrit dengan



- Pengkuat Silika. *Jurnal Integrasi*, 7, 108-112.
- Wibowo, A. 2019. Communication Concept Between Bluetooth as A Master and Slave to Exchange Digital Information. *Int. J. Eng. Adv. Technol*, 9, 5468-5470.
- Widodo, S., Amin, M. M., Sutrisman, A. dan Putra, A. A. 2017. Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Udara Bersih dan Gas Berbahaya Co, Co<sub>2</sub>, dan Ch<sub>4</sub> di dalam Ruangan Berbasis Mikrokontroler. *Pseudocode*, 4, 105-119.
- Yang, J., Yu, J. dan Huang, Y. 2011. Recent Developments in Gelcasting of Ceramics. *Journal of The European Ceramic Society*, 31, 2569-2591.
- Yang, J., Yu, X., An, L., Tu, S.-T. dan Yan, J. 2017. Co<sub>2</sub> Capture with The Absorbent of A Mixed Ionic Liquid and Amine Solution Considering The Effects of So<sub>2</sub> And O<sub>2</sub>. *Applied Energy*, 194, 9-18.
- Zhang, C., Li, Y., Chu, Z., Fang, Y., Han, K. dan He, Z. 2024. Analysis of Integrated Co<sub>2</sub> Capture and Utilization Via Calcium-Looping In-Situ Dry Reforming of Methane and Fischer-Tropsch for Synthetic Fuels Production. *Separation and Purification Technology*, 329, 125109.
- Zhang, Z., Pan, S.-Y., Li, H., Cai, J., Olabi, A. G., Anthony, E. J. dan Manovic, V. 2020. Recent Advances in Carbon Dioxide Utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125.
- Zhao, X., Sun, H., Lan, L., Huang, J., Zhang, H. dan Wang, Y. 2009. Pore Structures of High-Poosity Niti Alloys Made from Elemental Powders with Nacl Temporary Space-Holders. *Materials Letters*, 63, 2402-2404.