

SKRIPSI

**STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/KAOLIN
BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER* UBI
JALAR UNTUK ADSORPSI CO₂**



AHMAD TARMIZI

03051282025045

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

SKRIPSI

**STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/KAOLIN
BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER* UBI
JALAR UNTUK ADSORPSI CO₂**

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



OLEH

AHMAD TARMIZI

03051282025045

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/KAOLIN
BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER* UBI
JALAR UNTUK ADSORPSI CO₂**

SKRIPSI

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

Oleh:

AHMAD TARMIZI

03051282025045

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

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

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.
Diterima Tanggal
Paraf

: 094/AM/AE/2024

: 20-06-2024



SKRIPSI

NAMA : AHMAD TARMIZI
NIM : 03051282025045
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/KAOLIN
BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER*
UBI JALAR UNTUK ADSORPSI CO₂
DIBUAT TANGGAL : 18 NOVEMBER 2023
SELESAI TANGGAL : 27 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



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

HALAMAN PERSETUJUAN

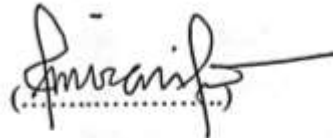
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Studi Fabrikasi Komposit HA/Kaolin Berpori Menggunakan *Space Holder* Ubi Jalar Untuk Adsorpsi CO₂” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 22 Mei 2024.

Palembang, 22 Mei 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

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



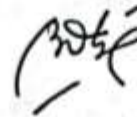
(.....)

Anggota :

2. Nurhabibah Paramitha Eka Utami, S.T., M.T.
NIP. (198911172015042003)
3. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. (198106302006041001)



(.....)



(.....)

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

Diperiksa dan disetujui oleh

Pembimbing Skripsi



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

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/Kaolin Berpori Menggunakan *Space Holder* Ubi Jalar Untuk Adsorpsi CO₂” 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 Yuliana, bapak Jauhari 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.
4. Gunawan, S.T, M.T selaku Dosen pengarah Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Skripsi dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak sekali memberikan arahan dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama masa perkuliahan
6. Wahyudi, Dwi Melinia, M. Ilyas Abdul Rahman dan Naylah Clemirah selaku kakak, ayuk dan adik-adik penulis yang turut memberikan semangat, saran dan membantu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

7. Teman – teman Jurusan Teknik Mesin angkatan 20 dan rekan – rekan AMCC Research Group selaku partner dalam penelitian ini.

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.

Indralaya, 30 Februari 2024



Ahmad Tarmizi
NIM 03051282025045

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Tarmizi

NIM : 03051282025045

Judul : STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/KAOLIN BERPORI
MENGUNAKAN *SPACE HOLDER* UBI JALAR UNTUK
ADSORPSI CO₂

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



Ahmad Tarmizi
NIM. 03051282025045

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Tarmizi

NIM : 03051282025045

Judul : STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/KAOLIN BERPORI
MENGUNAKAN *SPACE HOLDER* UBI JALAR UNTUK
ADSORPSI CO₂

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



Ahmad Tarmizi
NIM. 03051282025045

RINGKASAN

STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/KAOLIN BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER* UBI JALAR UNTUK ADSORPSI CO₂

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 22 Mei 2024

Ahmad Tarmizi, dibimbing oleh Gunawan, S.T., M.T.

Xxxii + 68 halaman, 41 gambar, 7 tabel

RINGKASAN

Peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) terus-menerus di atmosfer menjadi penyebab utama memburuknya iklim global. Peningkatan emisi karbon dioksida secara signifikan dipengaruhi oleh pembakaran bahan bakar fosil. Sumber energi fosil, termasuk batu bara, minyak, dan gas alam, terus menjadi sumber energi yang paling signifikan meskipun penggunaan energi terbarukan terus berkembang. Efek rumah kaca salah satu perubahan iklim global yang terjadi akibat pertukaran gas yang tidak seimbang antara atmosfer, lautan, dan daratan yang diakibatkan oleh emisi karbon dioksida (CO₂) yang berlebihan. Hal ini juga akan menyebabkan pertumbuhan ekosistem yang tidak terkoordinasi. Oleh karena itu, pengurangan emisi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer sangat diperlukan, beberapa strategi seperti pemisahan pada membran, penyerapan cairan ionik, dan adsorpsi digunakan dalam mengatasi masalah tersebut. Di antara berbagai strategi, adsorpsi oleh bahan penyerap padat telah menarik minat penelitian yang besar karena keunggulannya dalam hal pengoperasian yang mudah, biaya investasi modal yang rendah, konsumsi energi yang kecil, dan bebas korosi. Banyak bahan padatan yang bisa digunakan diantaranya adalah hidroksiapatit karena memiliki stabilitas termal yang tinggi. Keramik berpori hidroksiapatit menggunakan metode metalurgi serbuk dari bahan baku berupa limbah tulang sapi yang telah dikalsinasi pada suhu 800°C menjadi sumber hidroksiapatit sebagai matriks, kaolin sebagai penguat (*reinforced*) dan ubi jalar yang telah di oven pada suhu 150°C sebagai *space holder*. Ukuran serbuk setiap bahan adalah 0,074 mm atau 200 mesh. Proses pembuatan keramik berpori melibatkan tahap kalsinasi dengan *elektric furnace*, *grinding*, *sieving*,

mixing menggunakan *ballmilling*, *compression* menggunakan alat kompaksi dengan tekanan 150 MPa selama 10 menit, dan *sintering* menggunakan suhu 900°C. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui variasi komposisi keramik yang memiliki banyak porositas, pengujian *X-ray diffraction* (X-RD) 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 keramik berpori mengadsorpsi CO₂. Pada pengujian densitas variasi komposisi yang memiliki nilai porositas terbesar adalah 70% HA / 30% Kaolin dengan nilai rata-rata porositas sebesar 23,61%, sedangkan pengujian X-RD keramik terdapat 2 fasa yang dominan yaitu fasa hidroksiapatit dan fasa kaolin, kemudian pengujian SEM dilakukan di 1 titik dapat dilihat bentuk porositas secara jelas dengan variasi pembesaran 2000x, 3000x dan 5000x dan memiliki ukuran yang bervariasi, ukuran yang didapatkan dari 0,72 µm sampai 9,19 µm, dan pengujian *carbon capture* keramik berhasil mengadsorpsi CO₂ dengan baik dan memiliki rata-rata kemampuan adsorpsi sebesar 58,90% (732,043 PPM).

Kata Kunci : karbon dioksida, keramik, hidroksiapatit, kaolin, ubi jalar, *carbon capture*

SUMMARY

FABRICATION STUDY OF POROUS HA/KAOLIN COMPOSITE USING SWEET POTATO SPACE HOLDER FOR CO₂ ADSORPTION

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

Ahmad Tarmizi, supervised by Gunawan, S.T., M.T.

Xxxii + 68 pages, 41 figures, 7 tables

SUMMARY

The continuous increase in carbon dioxide (CO₂) emissions in the atmosphere is the main cause of the worsening global climate. The increase in carbon dioxide emissions is significantly influenced by the burning of fossil fuels. Fossil energy sources, including coal, oil and natural gas, continue to be the most significant source of energy despite the growing use of renewable energy. The green house effect is one of the global climate changes that occurs due to unbalanced gas exchange between the atmosphere, oceans and land caused by excessive carbon dioxide (CO₂) emissions. This will also lead to uncoordinated growth of ecosystems. Therefore, the reduction of carbon dioxide (CO₂) emissions in the atmosphere is necessary, several strategies such as separation on membranes, ionic liquid absorption, and adsorption are used in solving the problem. Among various strategies, adsorption by solid sorbents has attracted great research interest due to its advantages in terms of easy operation, low capital investment cost, small energy consumption, and corrosion-free. Many solid materials can be used including hydroxyapatite because it has high thermal stability. Hydroxyapatite porous ceramics using powder metallurgy method from raw materials in the form of bovine waste that has been calcined at 800°C to be the source of hydroxyapatite as a matrix, kaolin as reinforced and sweet potato that has been oven at 150°C as a space holder. The powder size of each material is 0.074 mm or 200 mesh. The process of making porous ceramics 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, and sintering using a temperature of 900°C. The tests

carried out are density testing aims to determine the variation of ceramic compositions that have a lot of porosity, X-ray diffraction (XRD) testing aims to characterize the phases formed in materials and ceramics, scanning electron microscope (SEM) testing aims to see the microstructure of the ceramic so that it can be known porosity and interconnection between powders in ceramics after sintering, and carbon capture testing aims to determine how much the ability of porous ceramics to adsorb CO₂. In density testing, the composition variation that has the largest porosity value is 70% HA / 30% Kaolin with an average porosity value of 23.61%, while X-RD testing of ceramics has 2 dominant phases, namely hydroxyapatite phase and kaolin phase, Then SEM testing is carried out at 1 point, it can be seen the shape of the porosity clearly with a variation of 2000x, 3000x and 5000x magnification and has a varied size, the size obtained from 0.72 μm to 9.19 μm, and ceramic carbon capture testing successfully adsorbs CO₂ well and has an average adsorption ability of 58.90% (732.043 PPM).

Keywords : carbon dioxide, ceramic, hydroxyapatite, kaolin, sweet potato, 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	xxxix
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 ₂)	5
2.2 <i>Carbon Capture and Storage (CCS)</i>	6
2.2.1 <i>Liquid solvents</i>	7
2.2.2 <i>Solid Adsorbents</i>	8
2.2.3 Membran.....	9
2.2.4 <i>Solid Looping</i>	10
2.3 Material Komposit	11
2.3.1 Keramik Berpori	12
2.4 Tulang Sapi	13
2.5 Adsorpsi CO ₂	14

2.5.1	Hidroksiapatit	15
2.5.2	Zeolit	17
2.5.3	Karbon Aktif	18
2.6	Sintesi Hidroksiapatit	19
2.6.1	Metode Presipitasi	19
2.6.2	Metode Sol Gel.....	20
2.6.3	Metode Hidrotermal	20
2.6.4	Metode Kalsinasi.....	21
2.6.5	Metode Kering.....	21
2.6.6	Metode <i>Vibro Milling</i>	22
2.7	Kaolin	22
2.8	Ubi Jalar Putih (<i>Ipomoea Batatas</i>).....	23
2.9	<i>Sintering</i>	25
2.10	<i>Solid State Sintering</i>	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Rancangan Penelitian	29
3.2	Studi Literatur	30
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.4	Persiapan Alat dan Bahan	30
3.4.1	Persiapan Alat	31
3.4.2	Persiapan Bahan Pembuatan Keramik Hidroksiapatit	31
3.5	Prosedur Penelitian.....	32
3.5.1	Proses Persiapan Hidroksiapatit	32
3.5.2	Persiapan <i>Reinforced</i>	34
3.5.3	Proses Persiapan <i>Space holder</i>	34
3.5.4	Pembuatan Keramik HA/Kaolin Berpori	34
3.6	Metode Pengujian Keramik.....	36
3.6.1	Uji Densitas	36
3.6.2	Uji XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	37
3.6.3	Uji SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	37
3.6.4	Uji <i>Carbon Capture</i>	38
3.7	Analisis Pengolahan Data.....	39
3.8	Hasil Yang Diharapkan	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		41

4.1	Kalsinasi Hidroksiapatit.....	41
4.2	<i>Space Holder</i>	42
4.3	Sintering Konvensional.....	42
4.4	Pengujian Densitas.....	43
4.5	Pengujian XRD	46
4.5.1	Hasil Pengujian XRD Hidroksiapatit.....	46
4.5.2	Hasil pengujian XRD Kaolin	48
4.5.3	Hasil Pengujian XRD Komposit HA/Kaolin Berpori.....	49
4.6	Pengujian SEM	49
4.7	Pengujian Carbon Capture	52
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN.....		63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konsentrasi rata-rata gas CO ₂ global dalam ppm (NOAA, 2023)	5
Gambar 2.2	Penangkapan dan penyimpanan karbon (Kearns dkk., 2021)	7
Gambar 2.3	Ilustrasi skema proses dalam penangkapan pelarut <i>Water-Lean Ion Clean Energy</i> (Kearns dkk., 2021)	8
Gambar 2.4	Konsep mesin adsorpsi putar Svante VeloxoTherm™ (Webley dkk., 2017)	9
Gambar 2.5	Foto-foto pembuluh membran luka spiral (kiri) yang digunakan dalam sistem membran skala komersial (kanan) (Kearns dkk., 2021)	10
Gambar 2.6	Skema proses perulangan (<i>looping</i>) kimiawi (Kearns dkk., 2021) ..	11
Gambar 2.7	Anatomi kerangka tulang sapi (Puspa dan Asmi, 2014)	14
Gambar 2.8	Struktur kimia HA (Ylinen, 2006)	16
Gambar 2.9	Diagram Fasa Biner CaO-P ₂ O ₅ (Heimann, 2016)	17
Gambar 2.10	Diagram Fasa Biner Al ₂ O ₃ dan SiO ₂ (Kurovics dkk., 2020)	23
Gambar 2.11	Grafik hasil TGA bubuk ubi jalar (Gunawan dkk., 2019a)	24
Gambar 2.12	Perubahan struktur mikro pada saat <i>sintering</i>	26
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	29
Gambar 3.2	Pengumpulan tulang sapi dari limbah warung bakso	32
Gambar 3.3	Proses perebusan tulang sapi	32
Gambar 3.4	Proses penjemuran tulang sapi	33
Gambar 3.5	Proses Pematangan	33
Gambar 3.6	<i>Ball milling</i>	35
Gambar 3.7	Alat kompaksi	35
Gambar 3.8	<i>Electric Furnace</i>	35
Gambar 3.9	Densimeter MH-300A	37
Gambar 3.10	Alat uji XRD rigaku miniflex 600	37
Gambar 3.11	Alat Uji <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	38
Gambar 3.12	Alat <i>carbon capture</i>	39
Gambar 4.1	Kalsinasi HA	41
Gambar 4.2	Serbuk HA Setelah Dihancurkan dan Diayak	41

Gambar 4.3 Serbuk Ubi Jalar Setelah Dihancurkan dan Diayak.....	42
Gambar 4.4 Spesimen Keramik HA/Kaolin	43
Gambar 4.5 (a) berat keramik berpori di udara dan (b) berat keramik di air	43
Gambar 4.6 nilai densitas <i>apparent</i>	44
Gambar 4.7 Grafik porositas keramik HA/Kaolin (<i>Space Holder</i> 30% wt).....	45
Gambar 4.8 Spektrum hasil XRD Hidroksiapatit.....	47
Gambar 4.9 Spektrum Hasil XRD Kaolin	48
Gambar 4.10 XRD Kaolin Standar ICDD 00-058-2028 (Onyekuru dkk., 2018)..	48
Gambar 4.11 Hasil XRD Keramik HA/Kaolin.....	49
Gambar 4.12 Hasil Analisis SEM Keramik Berpori 70% HA/30%Kaolin dengan perbesaran 2000x	50
Gambar 4.13 Hasil Analisis SEM Keramik Berpori 70% HA/30%Kaolin dengan perbesaran 3000x	51
Gambar 4.14 Hasil Analisis SEM Keramik Berpori 70% HA/30%Kaolin dengan perbesaran 5000x	51
Gambar 4.15 Grafik Data Hasil Adsorpsi CO ₂ <i>Running</i> 1	52
Gambar 4.16 Grafik Data Hasil Adsorpsi CO ₂	53
Gambar 4.17 Grafik Data Hasil CO ₂ yang Teradsorpsi	53

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Karakteristik Hidroksiapatit.....	16
Table 2.2 Komposisi kimia ubi jalar putih.....	24
Table 2.3 Kadar Pati Ketiga Jenis Ubi Jalar	25
Table 3.1 Waktu Penelitian.....	30
Table 3.2 Variasi komposisi bahan, parameter proses dan pengujian	40
Table 4.1 Data Nilai Densitas dan Porositas Keramik Berpori HA/Kaolin dengan Space Holder Ubi Jalar 30%wt.....	45
Table 4.2 Data Hasil Pembacaan Penangkapan CO ₂	53

DAFTAR SIMBOL

ρ apparent	: Densitas aktual (kg/m^3)
ρ fluida	: Densitas fluida (kg/m^3)
ρ teoritis	: Densitas teoritis (kg/m^3)
ρ relatif	: Densitas relative (kg/m^3)
W udara	: Berat spesimen di udara (kg)
W fluida	: Berat spesimen didalam fluida (kg)
V _h	: Berat hidroksiapatit %(g)
V _k	: Berat kaolin % (g)
ρ _h	: Densitas hidroksiapatit (g/cm^3)
ρ _k	: Densitas kaolin (g/cm^3)
Φ	: Porositas (%)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Form Formulir Konsultasi Proposal atau Tugas Akhir	63
Lampiran 2. Hasil Akhir Similaritas (Turnitin)	64
Lampiran 3. Surat Pernyataan Bebas Plagiarisme	65
Lampiran 4. Respon Perbaikan Sidang Sarjana	66
Lampiran 5. Form Pengecekan Format Tugas Akhir.....	68

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyebab yang mendominasi memburuknya iklim global telah terbukti diakibatkan oleh peningkatan emisi CO₂, dan fakta ini telah menarik perhatian dunia karena dampaknya terhadap lingkungan. Kandungan emisi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer terus naik di beberapa tahun belakangan ini. Meningkat dari 284,7 ppm menjadi 419 ppm (Januari 2023) rekor tertinggi ke-4 sejak awal pencatatan NASA, sejak era pra-industri. Karbon dioksida di udara memicu peningkatan suhu global dan mengubah pola cuaca. Dalam waktu kurang dari 200 tahun, manusia telah meningkatkan konsentrasi karbon dioksida hingga 50%, memperburuk dampaknya terhadap iklim (Harjanto dan Bahri, 2023). Emisi CO₂ secara signifikan dipengaruhi oleh pembakaran bahan bakar fosil. Sumber energi fosil, termasuk batu bara, minyak, dan gas alam, terus menjadi sumber energi yang paling signifikan meskipun penggunaan energi terbarukan terus berkembang. Efek rumah kaca salah satunya perubahan iklim global akan terjadi akibat pertukaran gas yang tidak seimbang antara atmosfer, lautan, dan daratan akibat emisi CO₂ yang berlebihan. Hal ini juga akan menyebabkan pertumbuhan ekosistem yang tidak terkoordinasi (Pu dkk., 2021). Oleh karena itu, untuk mengekstrak CO₂ dalam mengatasi masalah ini (Yuan dkk., 2021), mengurangi emisi CO₂ sangat diperlukan. Beberapa strategi, seperti pemisahan pada membran, penyerapan cairan ionik, dan adsorpsi digunakan.

Di antara berbagai strategi, adsorpsi oleh bahan penyerap padat telah menarik minat penelitian yang besar karena keunggulannya dalam hal pengoperasian yang mudah, biaya investasi modal yang rendah, konsumsi energi yang kecil, dan bebas korosi (Ma dkk., 2023). Banyak bahan padatan yang bisa digunakan seperti padatan berbasis CaO, kemampuan kalsium oksida (CaO) untuk melepaskan CO₂ dengan mudah dan menghasilkan karbonat curah melalui

dekomposisi termal telah menarik banyak perhatian di bidang penangkapan CO₂ dengan menggunakan senyawa CaO (Ojeda-Niño dkk., 2017a). Tulang sapi dan limbah biologis lainnya yang tinggi kalsium dapat digunakan untuk menghasilkan jenis padatan ini, yang kemudian dapat digunakan untuk membuat fase kristal seperti hidroksiapatit (HA) yang sangat stabil secara termal.

Hidroksiapatit (HA), yang secara kimia direpresentasikan sebagai Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂, adalah sebuah bahan biokeramik yang terbentuk melalui ikatan kimia yang kokoh. Ini merupakan salah satu komponen utama pembentuk tulang pada organisme hidup (Gunawan dkk., 2019b). Hidroksiapatit bisa diperoleh dari dua jenis sumber, yaitu anorganik dan organik. Contoh sumber anorganik adalah batuan yang mengandung fosfat. Sedangkan sumber organiknya dapat berasal dari cangkang telur ayam, cangkang kerang, tulang ikan, dan tulang sapi (Amir dkk., 2022).

Kandungan kalsium dalam tulang sapi cukup tinggi, yaitu sekitar 85,84%. Konsentrasi kalsium yang tinggi ini membuat kalsium berguna untuk sintesis hidroksiapatit. Untuk mensintesis tulang sapi menjadi bubuk hidroksiapatit, menurut penelitian (Gunawan dkk., 2019b), tulang harus terlebih dahulu dipanaskan hingga 1000°C hingga mengalami penyusutan berat, yang menandakan pelepasan unsur didalam tulang. Oleh karena itu, fakta bahwa limbah tulang sapi masih melimpah dan kurang dimanfaatkan merupakan salah satu alasan mengapa tulang sapi dipilih sebagai sumber hidroksiapatit untuk penelitian ini, yang akan melihat sintesisnya.

Banyak penulis telah mendokumentasikan penelitian mereka tentang pemanfaatan padatan berbasis kalsium oksida (CaO) untuk tujuan menangkap CO₂ dan telah menunjukkan bukti rendahnya stabilitas termal CaO akibat dari penghancuran porositas adsorben dan *sintering* butiran (Papalas dkk., 2020). Produksi mikrogranul berpori dari hidroksiapatit sintetis yang dimodifikasi telah menunjukkan harapan dalam menangkap karbon dioksida pada suhu antara 800°C dan 1000°C. Menurut pernyataan mereka, karbonat apatit (Ca₁₀ (PO₄)₆(CO₃) yang terbentuk di dalam pori-pori, memungkinkan HA untuk menyerap CO₂. Dibandingkan dengan CaO, yang menunjukkan stabilitas termal yang rendah, HA sintetis yang dimodifikasi memiliki stabilitas termal yang tinggi

selama beberapa siklus pelepasan karbonasi (Ojeda-Niño dkk., 2017a). Berdasarkan temuan tersebut, penulis mengambil skripsi / tugas akhir dengan judul : “STUDI FABRIKASI KOMPOSIT HA/KAOLIN BERPORI MENGGUNAKAN *SPACE HOLDER* UBI JALAR UNTUK ADSORPSI CO₂”

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan keramik berpori dengan menggunakan bahan dari alam yang dimanfaatkan yaitu limbah tulang sapi bagian femur menjadi sumber hidroksiapatit sebagai matriks organik dan kaolin sebagai *reinforced* dan ubi jalar sebagai *space holder*. Variasi bahan merupakan Parameter utama dalam penentuan sifat-sifat material hasil teknologi serbuk. Pada penelitian ini akan dipelajari masalah variasi bahan terhadap sifat fisik (densitas dan porositas), sifat kimia (komposisi kimia dan phasa) dan kemampuan keramik berpori dalam adsorpsi CO₂.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penulis dalam penelitian ini adalah :

1. Pada penelitian ini digunakan hidroksiapatit sebagai matriks dengan berat 70%, 75% , dan 80%
2. *Reinforced* yang digunakan adalah kaolin dengan berat 30%, 25% dan 20%
3. Pada penelitian ini digunakan ubi jalar sebagai *Space holder* dengan berat 30% (wt% of total wt comp)
4. Menggunakan grinding dan mortar untuk menghancurkan tulang menjadi bentuk serbuk dengan ukuran yang diinginkan

5. Emisi CO₂ berasal dari gas buang pembakaran sepeda motor vario 150 cc dalam kondisi *idle*
6. Menggunakan parameter *sintering* dengan suhu 900°C dengan *heating rate* 5°C/min dan *holding time* 2 jam.
7. Variasi pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian density, dan pengujian XRD, pengujian SEM dan pengujian *carbon capture*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Membuat keramik berpori sebagai adsorpsi CO₂ dari hidroksiapatit/kaolin dengan *space holder* ubi jalar.
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi bahan hidroksiapatit/kaolin terhadap sifat fisik dan sifat kimia keramik berpori.
3. Untuk menganalisis kemampuan keramik berpori dalam adsorpsi CO₂ dari hidroksiapatit/kaolin terhadap pengaruh variasi bahan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, adalah :

1. Mempelajari cara pembuatan keramik berpori berbasis HA-kaolin sebagai adsorpsi CO₂
2. Mengetahui sifat fisik dan sifat kimia keramik berpori berbasis HA-kaolin
3. Agar dapat membantu peneliti lainnya terkhusus pada pembuatan keramik HA-kaolin dengan metode *sintering*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, J., Setiawan, A. P. & Tanaya, F. 2019. Eksperimen Dengan Media Tulang Sapi Sebagai Media Alternatif Produk Interior. *Intra*, 7, 292-297.
- Al Mamun, M. R., Karim, M. R., Rahman, M. M., Asiri, A. M. & Torii, S. 2016. Methane Enrichment Of Biogas By Carbon Dioxide Fixation With Calcium Hydroxide And Activated Carbon. *Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical Engineers*, 58, 476-481.
- Amin, M. 2020. Studi Pembuatan Komposit HA/SiO₂ Berpori Menggunakan Space Holder Ubi Jalar Ungu.
- Amir, A., Abu Bakar, S., Lee Choy, F., Gunawan & Irsyadi, Y. 2022. Porous Titanium Alloy/Hydroxyapatite Composite Using Powder Compaction Route. *Journal Of Mechanical Engineering And Sciences*, 11, 2679-2692.
- Anbalagan Balamurugan, J. M., Faure, J., Hichambenhayoune, L., Sockallingum, G., Banchet, V., Bouthors, S., Laurent-Maquin, D. & Balossier, G. 2006. Synthesis And Structural Analysis Of Sol-Gel Derived Stoichiometric Monophasic Hydroxyapatite. *Ceramics-Silikaty*50 (1), 27-31.
- 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.
- Bansal, R. C. & Goyal, M. 2005. *Activated Carbon Adsorption*, Crc Press.
- 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.
- Bintoro, A. R. W. 2012. Studi Sitokompatibilitas Nano-Komposit Hidroksiapatit/Kitosan (N-HA/Cs). Universitas Airlangga.
- Black, J. T. & Kohser, R. A. 2020. *Degarmo's Materials And Processes In Manufacturing*, John Wiley & Sons.
- Budihartono, S. 2012. Pengaruh Pressureless Sintering Komposit Al-Kaolin Terhadap Densitas, Kekerasan Dan Struktur Mikro. *Traksi*, 12.
- Chen, Y.-H. & Lu, D.-L. 2015. CO₂ Capture By Kaolinite And Its Adsorption Mechanism. *Applied Clay Science*, 104, 221-228.

- Cornejo-Ramírez, Y. I., Martínez-Cruz, O., Del Toro-Sánchez, C. L., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J. & Cinco-Moroyoqui, F. J. 2018. The Structural Characteristics Of Starches And Their Functional Properties. *Cyta - Journal Of Food*, 16, 1003-1017.
- Cosentino, I., Muccillo, E. & Muccillo, R. 2003. Development Of Zirconia-Titania Porous Ceramics For Humidity Sensors. *Sensors And Actuators B: Chemical*, 96, 677-683.
- Dąbrowski, A. 2001. Adsorption—From Theory To Practice. *Advances In Colloid And Interface Science*, 93, 135-224.
- Fadhilah, N., Irhamni, I. & Jalil, Z. 2016. Synthesis Of Natural Hydroxyapatite From Aceh's Bovine Bone. *Journal Of Aceh Physics Society*, 5, 19-21.
- Fahmi, H. & Arifin, N. 2014. Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Resin Epoxy/Serat Glass Dan Serat Daun Nanas Terhadap Ketangguhan. *Jurnal Teknik Mesin*, 4, 84-89.
- Fauzia, M., Prasetyaningrum, N., Pusporini, R., Fuadiyah, D., Pratiwi, A. R. & Sutanti, V. 2022. Tulang: Tinjauan Secara Komprehensif Dalam Bidang Kedokteran Gigi, Universitas Brawijaya Press.
- Grant Norton, C. 2013. *Ceramic Materials Science And Engineering*. Springer Publication.
- Gunawan, Arifin, A., Yani, I. & Arian, S. D. 2019a. The Fabrication Porous Hydroxyapatite Scaffold Using Sweet Potato Starch As A Natural Space Holder. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1198, 042020.
- Gunawan, G., Arifin, A., Yani, I. & Indrajaya, M. 2019b. Characterization Of Porous Hydroxyapatite-Alumina Composite Scaffold Produced Via Powder Compaction Method. *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, 620.
- Harjanto, T. R. & Bahri, S. 2023. Bioreaktor Bahan Isian Vegetasi Rumput-Rumputan Sebagai Alat Uji Penyerap Polutan CO₂. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21, 693-703.
- Hastuti, I. W. & Dwandaru, W. B. 2017. Karakterisasi Butiran Sub Mikron Nanomaterial Karbon Batok Kelapa Dengan Variasi Waktu Pengadukan Bahan Yang Digunakan Untuk Filtrasi Logam Fe Dari Limbah Air Selokan Mataram Berdasarkan Uji Uv-Vis, Xrd, Sem Dan Aas *Jurnal Ilmu Fisika Dan Terapannya*, 6, 308-318.
- Hedin, N., Andersson, L., Bergström, L. & Yan, J. 2013. Adsorbents For The Post-Combustion Capture Of CO₂ Using Rapid Temperature Swing Or Vacuum Swing Adsorption. *Applied Energy*, 104, 418-433.
- Heimann, R. B. 2016. Plasma-Sprayed Hydroxylapatite-Based Coatings:

Chemical, Mechanical, Microstructural, And Biomedical Properties. *Journal Of Thermal Spray Technology*, 25, 827-850.

- Hilmi, I., Rinastiti, M. & Herliansyah, M. K. Synthesis Of Hydroxyapatite From Local Bovine Bones For Biomedical Application. 2011 2nd International Conference On Instrumentation, Communications, Information Technology, And Biomedical Engineering, 8-9 Nov. 2011. 409-411.
- Ikhsan, I., Gunawarman, G. & Yetri, Y. 2018. Karakteristik Hidroksiapatit (HA) Dari Limbah Tulang Sapi Dengan Metode Mekanik-Termal. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, 13, 43.
- Ismadji, S., Soetaredjo, F. E., Santoso, S. P., Putro, J. N., Yuliana, M., Irawaty, W., Hartono, S. B. & Lunardi, V. B. 2021. Adsorpsi Pada Fase Cair: Kesetimbangan, Kinetika, Dan Termodinamika. Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.
- Kearns, D., Liu, H. & Consoli, C. 2021. Technology Readiness And Costs Of Ccs. *Global Ccs Institute*, 3.
- Kurovics, E., Kotova, O. B., Ibrahim, J. E. F., Tihtih, M., Sun, S., Pala, P. & Gomze, L. A. 2020. Characterization Of Phase Transformation And Thermal Behavior Of Sedleky Kaolin. *Építőanyag (Online)*, 144-147.
- Labiba, D. & Pradoto, W. 2018. Sebaran Emisi CO₂ Dan Implikasinya Terhadap Penataan Ruang Area Industri Di Kabupaten Kendal. *Jurnal Pengembangan Kota*, 6.
- Lopes, G. K., Zanella, H. G., Spessato, L., Ronix, A., Viero, P., Fonseca, J. M., Yokoyama, J. T., Cazetta, A. L. & Almeida, V. C. 2021. Steam-Activated Carbon From Malt Bagasse: Optimization Of Preparation Conditions And Adsorption Studies Of Sunset Yellow Food Dye. *Arabian Journal Of Chemistry*, 14, 103001.
- Ma, C., Bai, J., Hu, X., Jiang, Z. & Wang, L. 2023. Nitrogen-Doped Porous Carbons From Polyacrylonitrile Fiber As Effective CO₂ Adsorbents. *J Environ Sci (China)*, 125, 533-543.
- Nayak, A. K. 2010. Hydroxyapatite Synthesis Methodologies: An Overview. *International Journal Of Chemtech Research*, 2, 903-907.
- Ni Made, R. S. 2016. Pengembangan Bentuk Guci Keramik Dengan Motif Ornamen Tradisi Bali.
- Noaa. 2023. Carbon Cycle Greenhouse Gases [Online]. Earth System Research Laboratories Global Monitoring Laboratory: National Oceanic & Atmospheric Administration. Available: <https://Gml.Noaa.Gov/Ccgg/> [Accessed 17 November 2023 2023].

- Noviyanti, N., Jasruddin, J. & Sujiono, E. H. 2015. Karakterisasi Kalsium Karbonat ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$) Dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 11, 169-172.
- 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. 2017a. High Temperature CO_2 Capture Of Hydroxyapatite Extracted From Tilapia Scales. *Universitas Scientiarum*, 22.
- Ojeda-Niño, O. H., Blanco, C. & Daza, C. E. 2017b. High Temperature CO_2 Capture Of Hydroxyapatite Extracted From Tilapia Scales. *Universitas Scientiarum*, 22, 215-236.
- Onyekuru, S., Iwuoha, P., Iwuagwu, C., Nwozor, K. & Opara, K. 2018. Mineralogical And Geochemical Properties Of Clay Deposits In Parts Of Southeastern Nigeria. *International Journal Of Physical Sciences*, 13, 217-229.
- Papalas, T., Antzaras, A. N. & Lemonidou, A. A. 2020. Evaluation Of Calcium-Based Sorbents Derived From Natural Ores And Industrial Wastes For High-Temperature CO_2 Capture. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59, 9926-9938.
- Pasichnyk, M., Stanovsky, P., Polezhaev, P., Zach, B., Šyc, M., Bobák, M., Jansen, J. C., Příbyl, M., Bara, J. E., Friess, K., Havlica, J., Gin, D. L., Noble, R. D. & Izák, P. 2023. Membrane Technology For Challenging Separations: Removal Of CO_2 , SO_2 And Nox From Flue And Waste Gases. *Separation And Purification Technology*, 323.
- Perwitasari, D. S. Hidrolisis Tulang Sapi Menggunakan Hcl Untuk Pembuatan Gelatin. *Makalah Seminar Nasional Soebardjo Brotohardjono*, 2008.
- Pu, Q., Zou, J., Wang, J., Lu, S., Ning, P., Huang, L. & Wang, Q. 2021. Systematic Study Of Dynamic CO_2 Adsorption On Activated Carbons Derived From Different Biomass. *Journal Of Alloys And Compounds*, 887, 161406.
- Puspa, K. A. & Asmi, D. 2014. Sintesis Dan Karakterisasi Biokeramik Hidroksiapatit Bahan Tulang Sapi Pada Suhu 800-1100. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 2.
- Rachmania, A. 2012. Preparasi Hidroksi Apatit Dari Tulang Sapi Dengan Metode Kombinasi Ultrasonik Dan Spray Drying. *Tesis*.
- Raharjo, J. Pengaruh Tingkat Kemurnian Bahan Baku Alumina Terhadap Temperatur Sintering Dan Karakteristik Keramik Alumina. *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, 2015. 14-1-B14. 7.

- Ruksudjarit, A., Pengpat, K., Rujijanagul, G. & Tunkasiri, T. 2008. Synthesis And Characterization Of Nanocrystalline Hydroxyapatite From Natural Bovine Bone. *Current Applied Physics*, 8, 270-272.
- Sadat-Shojai, M. 2009. Preparation Of Hydroxyapatite Nanoparticles: Comparison Between Hydrothermal And Solvo-Treatment Processes And Colloidal Stability Of Produced Nanoparticles In A Dilute Experimental Dental Adhesive. *Journal Of The Iranian Chemical Society*, 6, 386-392.
- Santos, M. H., Oliveira, M. D., Souza, L. P. D. F., Mansur, H. S. & Vasconcelos, W. L. 2004. Synthesis Control And Characterization Of Hydroxyapatite Prepared By Wet Precipitation Process. *Materials Research*, 7, 625-630.
- Suchanek, W. L. & Riman, R. E. 2006. Hydrothermal Synthesis Of Advanced Ceramic Powders. *Advances In Science And Technology*, 45, 184-193.
- Suryadi, S. 2011. Karakterisasi Biomaterial Hidroksiapatit Dengan Proses Pengendapan Kimia Basah. Universitas Indonesia.
- Susilawati, M. Kajian Formulasi Tepung Terigu Dan Tepung Dari Berbagai Jenis Ubi Jalar Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Biskuit Non-Flaky Crackers. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Ii*, 2008.
- Titinchi, S. J., Piet, M., Abbo, H. S., Bolland, O. & Schwieger, W. 2014. Chemically Modified Solid Adsorbents For CO₂ Capture. *Energy Procedia*, 63, 8153-8160.
- Trycahyono, G. 2021. Studi Pengaruh Tekanan Kompaksi Pada Pembuatan Keramik Hidroksiapatit Melalui Proses Sintering Dingin. Universitas Sriwijaya.
- Wahono, S. K., Maryana, R., Kismurtono, M., Kismurtono, M. & Knisa, K. 2010. Modifikasi Zeolit Lokal Gunungkidul Sebagai Upaya Peningkatan Performa Biogas Untuk Pembangkit Listrik.
- Webley, P., Singh, R. & Xiao, P. 2017. Adsorption Processes For CO₂ Capture: An Overview. *CO₂ Summit Iii: Pathways To Carbon Capture, Utilization, And Storage Deployment*.
- Wianto, T. & Haryanti, N. H. 2008. Penentuan Mineral Dan Logam Sebagai Material Dasar Dalam Pengembangan Potensi Kalimantan Selatan Sebagai Daerah Penghasil Nanomaterial. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika Fmipa Universitas Lambung Mangkurat*, 5, 185-196.
- Yamliha, A., Dwiargo, B. & Nugroho, W. A. 2013. Pengaruh Ukuran Zeolite Terhadap Penyerapan Karbondioksida (CO₂) Pada Aliran Biogas. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 1, 67-72.
- Yatim, N. & Rahman, H. Influences Of Starch On Ceramic-Foam Fabrication:

- A Short Review. Iop Conference Series: Materials Science And Engineering, 2020. Iop Publishing, 012001.
- Ylinen, P. 2006. Applications Of Coralline Hydroxyapatite With Bioabsorbable Containment And Reinforcement As Bone Graft Substitute. Dissertasion, Helsinkin University.
- Yuan, X., Suvarna, M., Low, S., Dissanayake, P. D., Lee, K. B., Li, J., Wang, X. & Ok, Y. S. 2021. Applied Machine Learning For Prediction Of CO₂ Adsorption On Biomass Waste-Derived Porous Carbons. Environmental Science & Technology, 55, 11925-11936.
- Yuliansar, Y., Ridwan, R. & Hermawati, H. 2020. Karakterisasi Pati Ubi Jalar Putih, Orange, Dan Ungu. Jurnal Saintis, 1, 1-13.
- Zainuri, M., Siradj, E. S., Priadi, D. & Zulfia, A. 2010. Pengaruh Pelapisan Permukaan Partikel Sic Dengan Oksida Metal Terhadap Modulus Elastisitas Komposit Al/Sic. Makara Journal Of Science.