

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROSIAPATIT DARI CANGKANG
TELUR AYAM PETELUR (*Gallus gallus domesticus*) DAN PENGARUH
PENAMBAHAN SiO₂ TERHADAP SIFAT MEKANIK**

SKRIPSI



Oleh:

M. Ramdan Abdul Mannan

08031281722022

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROSIAPATIT DARI CANGKANG
TELUR AYAM PETELUR (*Gallus gallus domesticus*) DAN PENGARUH
PENAMBAHAN SiO₂ TERHADAP SIFAT MEKANIK**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh :

M. Ramdan Abdul Mannan

08031281722022

Indralaya, 25 November 2021

Pembimbing I



Dra. Fatma, MS

NIP. 196207131991022001

Pembimbing II



Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si

NIP. 196808271994022001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Hermansyah, S.Si, M.Si., Ph.D

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi ini dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Hidrosiapatit dari Cangkang Telur Ayam Petelur (*Gallus gallus domesticus*) dan Pengaruh Penambahan SiO₂ Terhadap Sifat Mekanik.” telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Sidang Sarjana Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada Tanggal 23 November 2021 dan telah diperbaiki, diperiksa serta disetujui sesuai masukan yang diberikan.

Indralaya, 25 November 2021

Ketua :

1. **Dra. Fatma, MS**
NIP. 196207131991022001

(a G)

Anggota :

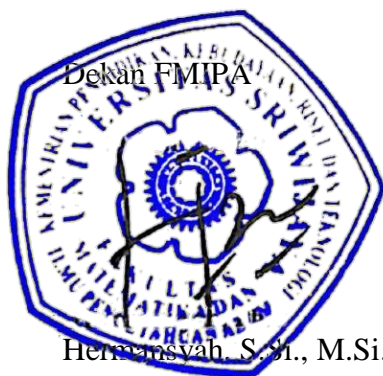
2. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si**
NIP. 196808271994022001
3. **Dr. Bambang Yudono, M.Sc**
NIP. 196102071989031004
4. **Zainal Fanani, M.Si**
NIP. 196708211995121001

(P D)

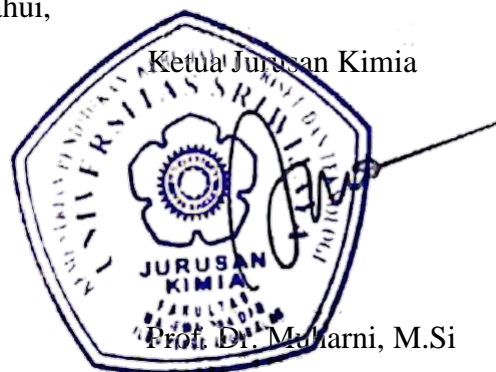
(B Y)

(Z F)

Mengetahui,



Heringsyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001



Prof. Dr. Mulharni, M.Si
NIP.196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : M. Ramdan Abdul Mannan

NIM : 08031281722022

Fakultas/Jurusan : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam/Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 25 November 2021

Penulis



M. Ramdan Abdul Mannan

NIM. 08031281722022

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : M. Ramdan Abdul Mannan

NIM : 08031281722022

Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “Sintesis dan Karakterisasi Hidrosiapatit dari Cangkang Telur Ayam Petelur (*Gallus gallus domestica*) dan Pengaruh Penambahan SiO₂ Terhadap Sifat Mekanik”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak untuk menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Indralaya, 25 November 2021

Penulis



M. Ramdan Abdul Mannan

NIM. 08031281722022

LEMBAR PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmaanirrahiimm...

“Hai orang-orang beriman apabila dikatakan kepadamu: “Berlapang-lapanglah dalam majelis”, maka lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan: “Berdirilah kamu”, maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.” (QS. Al-Maidah: 11).

“Saudaraku, Janganlah engkau putus asa, karena putus asa bukanlah akhlak seorang muslim. Ketahuilah bahwa kenyataan hari ini adalah mimpi hari kemarin, dan impian hari ini adalah kenyataan di hari esok.” (Syahid Hasan Al-Banna)

Ingatlah dimanapun kita berada dan dalam keadaan atau kondisi apapun tetaplah untuk senantiasa mengingat Allas SWT, juga ditanamkan dalam hati kita untuk selalu #TebarKebaikan #TebarKebermanfaatan

Skripsi ini sebagai tanda syukurku kepada:

- Allah SWT
- Nabi Muhammad SAW

Dan kupersembahkan kepada:

- Mamah, Bapak dan adikku tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan semangat serta dukungan
- Seluruh keluarga besar
- Pembimbing tugas akhir penelitian skripsi Ibu Dra. Fatma, MS dan Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si
- Seluruh dosen FMIPA Universitas Sriwijaya
- Almamater Universitas Sriwijaya

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, kita memujinya, memohon ampunan dan meminta pertolongan kepada-Nya dan pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: “Sintesis dan Karakterisasi Hidrosiapatit dari Cangkang Telur Ayam Petelur (*Gallus gallus domestica*) dan Pengaruh Penambahan SiO₂ Terhadap Sifat Mekanik”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Sriwijaya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai rintangan, mulai dari pengumpulan literatur, penelitian, pengumpulan data dan sampai pada pengolahan data maupun dalam tahap penulisan. Namun dengan kesabaran dan ketekunan yang dilandasi dengan rasa tanggung jawab selaku mahasiswa dan juga bantuan dari berbagai pihak, baik material maupun moril, akhirnya selesai sudah penulisan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu **Dra. Fatma, MS** dan Ibu **Prof. Dr. Poedji Loekitowati H, M.Si** yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan, motivasi, saran dan petunjuk kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya yang begitu besar, rasa syukur ku panjatkan atas seluruh karunia-Nya.
2. Dana Hibah Kompetitif Universitas Sriwijaya Tahun 2021 selaku pihak yang mendanai penelitian ini.
3. Bapak Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Prof. Dr. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Ibu Dr. Miksusanti, M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik.
7. Bapak Dr. Bambang Yudono, M.Sc. dan Zainal Fanani, M.Si. selaku pembahas dan penguji sidang sarjana.

8. Seluruh Dosen FMIPA Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa kuliah.
9. Mamah dan Bapak yang selalu mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan serta semangat dan adikku tercinta Najwa dan Arsyad yang selalu menjadi penyemangat di kala lelah.
10. Keluarga Besar Boget yang selalu mendoakan dan senantiasa memberikan dukungan, motivasi dan semangat.
11. Keluarga Besar Kimia FMIPA UNSRI angkatan 2017 (CHEM17STRY) yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Rekan berfikir, rekan berdiskusi serta rekan dari segala rekan selama perkuliahan di jurusan kimia ini. Terimakasih atas segala cerita dan perjuangan hidup selama masa perkuliahan ini. Semoga Allah SWT memudahkan segala urusan kita kedepan. Sukses selalu untuk kita semua Lanang dan Betino Kimia 17.
12. Tim Penelitian Prof. Poedji 2021 pada akhirnya walaupun kita menemui banyak rintangan, kita tetap bisa mencapai titik ini. Disini kita merasakan banyak suka dan duka. Kita telah mengukir banyak cerita disini. Terima kasih semuanya. Semoga kita selalu mendapat kesehatan dan kesempatan agar bisa bertemu lagi di lain waktu. Sukses selalu.
13. Tim Pengurus Inti Kimia 2017, terimakasih atas segala jasa dan pengorbanannya, yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan, semangat dan sukses selalu untuk kalian.
14. Kakak-kakak tingkat Kimia Angkatan 2016, 2015, 2014 dan 2013 serta adik-adik tingkat Angkatan 2018, 2019 dan 2020 yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
15. Keluarga Besar BEM KM FMIPA UNSRI (Kabinet Lebah, AKOR, Inspiratif dan TRIKORA) yang tidak bisa disebutkan satu persatu, tempat penulis ditempa diri dengan berbagai kegiatan yang banyak memberikan manfaat untuk orang banyak, terimakasih untuk segalanya semoga kedepan terus memberikan dampak yang nyata dan menghasilkan kader-kader yang berkualitas. Tak lupa untuk Power Rangers Trikora pengingat dan motivator dalam kebaikan dan kebermanfaatn, sukses selalu dunia dan akhirat dimanapun kalian berada.

16. Keluarga besar HASKA terkhusus HASKA SUMBAGSEL (spesial untuk KIP F8) keluarga di tanah rantau yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih atas jasa, masukan, motivasi, pengalaman hidup serta segalanya selama di tanah rantauan. Semoga Allah senantiasa memudahkan segala urusan kedepan.
17. Rekan Smakbo angkatan 59 (Dysprosina Alvyron) terkhusus The Kosan Court dan Surfive yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih atas dukungan dan support nya selama ini.
18. Keluarga Besar PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dan PT. Sri Aneka Karyatama (SAK) terkhusus Departemen Laboratorium yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas seluruh bantuan, bimbingan, motivasi, dukungan serta pengalaman kerjanya. Jaya selalu untuk kedepannya.
19. Mbak Novi dan Kak Chosiin selaku Admin Jurusan Kimia, Terimakasih sudah membantu kelancaran proses tugas akhir serta pengurusan berkas berkas dan lainnya,
20. Semua pihak tertentu yang telah membantu dan memberikan informasi baik secara langsung ataupun tidak sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik.

Semoga bimbingan, ilmu, bantuan, dan masukan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal shaleh dan pahala yang setimpal dari Allah SWT. Semoga bantuan kalian menjadi kemudahan dalam menjalankan kehidupan yang dirahmati allah SWT. Dengan kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua serta pengembangan ilmu kimia di masa yang akan datang.

SUMMARY

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF HYDROXYAPATITE FROM CHICKEN EGG SHELL (*Gallus gallus domesticus*) AND THE EFFECT OF ADDITION SiO₂ ON MECHANICAL PROPERTIES

M. Ramdan Abdul Mannan: Supervised by Dra. Fatma, M.S and Dr. Poedji
Loekitowati H, M.Si

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University
63 + xviii pages, 27 tables, 23 pictures and 20 attachments

Research of the synthesis and characterization of hydroxyapatite from chicken egg shells (*Gallus gallus domesticus*) and the effect of the addition of SiO₂ on mechanical properties has been carried out. The aim of this this research to synthesize and characterize hydroxyapatite compounds and HAp:SiO₂ composites with mass ratios of 10:0, 9:1, 8:2, 7:3 and 6:4. Synthesis of hydroxyapatite using the *Sol Gel* method by reacting calcium hydroxide as a calcium precursor with phosphoric acid as a phosphate precursor. Then, hydroxyapatite composited with tetraethylorthosilica (TEOS) as silica precursor. Hydroxyapatite and HAp:SiO₂ composites were characterized by XRD to determine the 2θ angle, crystallinity value and crystal size. The results of the XRD characterization on hydroxyapatite showed a sharp peak at an angle of 2θ of 31.930° with a crystallinity value of 50.01% and a crystal size of 28.35 nm, while the best composite HAp:SiO₂ 6:4 showed a sharp peak at an angle of 2θ of 31.840° with a crystallinity value of 50.12% and a crystal size of 33.09 nm. Mechanical properties were characterized in the form of hardness test, Young's modulus and compressive strength test. Hydroxyapatite has a result of hardness test value of 0.9553 ± 0.0175 MPa, a compressive strength test of 34.95 ± 4.4548 MPa and a Young's modulus test value of $1 \times 10^{-3} \pm 7 \times 10^{-6}$ GPa, while the best HAp:SiO₂ composite with a mass ratio 6:4 has a result of hardness test value of 2.2470 ± 0.0705 MPa, a compressive strength test value of 508.00 ± 17.9605 MPa and a Young's modulus test value of $2 \times 10^{-3} \pm 5 \times 10^{-6}$ GPa. The results of the characterization of the mechanical properties test showed that the best HAp:SiO₂ composite was at a mass ratio of 6:4. Then, the best composites were characterized by SEM-EDS to determine the type of morphology and also the comparison of the component elements in the composite. The results of SEM characterization showed the morphology of hydroxyapatite indicated irregular and have large pores holes and rough surface area while morphology in the composite of HAp:SiO₂ 6:4 agglomeration occurs, with a homogeneous and

regular granular bar morphology and has a smoother surface. The results of the EDS characterization showed that the Ca/P ratio of hydroxyapatite was 1,23 and the HAp:SiO₂ 6:4 composite was 1,33.

Keywords : Chicken Egg Shell, Hydroxyapatite, Silica, HAp:SiO₂ Composite,
Mechanical Properties.

Citation : 44 (2005 – 2020)

RINGKASAN

SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROSIAPATIT DARI CANGKANG TELUR AYAM PETELUR (*Gallus gallus domestica*) DAN PENGARUH PENAMBAHAN SiO₂ TERHADAP SIFAT MEKANIK

M. Ramdan Abdul Mannan : Dibimbing oleh Dra. Fatma, M.S dan Dr. Poedji
Loekitowati H, M.Si

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
63 + xviii halaman, 27 tabel, 23 gambar dan 20 lampiran

Penelitian sintesis dan karakterisasi Hidrosiapatit dari cangkang telur ayam petelur (*Gallus gallus domestica*) dan pengaruh penambahan SiO₂ terhadap sifat mekanik telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi senyawa Hidrosiapatit dan komposit HAp:SiO₂ dengan rasio perbandingan massa 10:0, 9:1, 8:2, 7:3 dan 6:4. Sintesis Hidrosiapatit dilakukan dengan metode *Sol Gel* dengan cara mereaksikan kalsium hidroksida sebagai prekursor kalsium dengan asam posfat sebagai prekursor posfat. Hidrosiapatit dikompositkan dengan penambahan tetraetilortosilika (TEOS) sebagai prekursor silika. Hidrosiapatit dan komposit HAp:SiO₂ dilakukan karakterisasi dengan XRD untuk menentukan sudut 2θ , nilai kristalinitas dan ukuran kristal. Hasil karakterisasi uji XRD pada hidrosiapatit menunjukkan puncak yang tajam pada sudut 2θ sebesar $31,930^\circ$ dengan nilai kristalinitas 50,01% dan ukuran kristal 28,35 nm, sedangkan pada komposit terbaik HAp:SiO₂ 6:4 menunjukkan puncak yang tajam pada sudut 2θ sebesar $31,840^\circ$ dengan nilai kristalinitas 50,12% dan ukuran kristal 33,09 nm. Selanjutnya dilakukan karakterisasi sifat mekanik berupa uji kekerasan, *modulus Young* dan uji daya tekan. Hidrosiapatit memiliki nilai kekerasan sebesar $0,9553 \pm 0,0175$ MPa, uji daya tekan sebesar $34,95 \pm 4,4548$ MPa dan nilai *modulus Young* sebesar $1 \times 10^{-3} \pm 7 \times 10^{-6}$ GPa, sedangkan pada komposit HAp:SiO₂ terbaik dengan perbandingan massa 6:4 memiliki nilai kekerasan sebesar $2,2470 \pm 0,0705$ MPa, nilai daya tekan $508,00 \pm 17,9605$ MPa dan nilai dari *modulus Young* sebesar $0,002 \pm 0,0000$ GPa $2 \times 10^{-3} \pm 5 \times 10^{-6}$ GPa. Hasil karakterisasi uji sifat mekanik menunjukkan bahwa komposit HAp:SiO₂ terbaik adalah pada perbandingan massa 6:4. Komposit terbaik selanjutnya dilakukan karakterisasi dengan SEM-EDS untuk melihat morfologi dan mengetahui perbandingan elemen pada komposit tersebut. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan morfologi hidrosiapatit yang tidak beraturan dan memiliki lubang pori yang besar dan luas permukaan yang kasar sedangkan morfologi pada komposit HAp:SiO₂ 6:4 terjadi aglomerasi atau

penggumpalan, dengan bentuk morfologi batangan granular yang homogen dan teratur serta memiliki permukaan yang lebih halus. Hasil karakterisasi EDS menunjukkan bahwa rasio Ca/P pada hidroksiapatit sebesar 1,23 dan pada komposit HAp:SiO₂ 6:4 sebesar 1,33.

Kata Kunci : Cangkang Telur Ayam, Hidroksiapatit, Silika, Komposit HAp:SiO₂,
Sifat Mekanik.

Sitasi : 44 (2005 – 2020)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	x
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Cangkang Telur Ayam Petelur.....	5
2.2 Senyawa Kalsium Karbonat.....	5
2.3 Material SenyawHidroksiapatit.....	6
2.4 Proses Sinesis Hidroksiapatit	7
2.5 Senyawa Siliki(SiO ₂)	8
2.6 Komposit Hidroksiapatit-SiO ₂	9
2.7 X-Ray Diffraction (XRD).....	9
2.8 Analisa SEM-EDS (Scanning Eletron Microscope- Energy Dispersive Spectrometer	10

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.2.1 Alat	12
3.2.2 Bahan	12
3.3 Prosedur Penelitian	12
3.3.1 Preparasi Cangkang Telur Ayam	12
3.3.2 Sintesis Hidroksiapatit (Hap)	13
3.3.3 Sintesis Komposit Hidroksiapatit-SiO ₂	13
3.3.4 Sintesis Komposit HAp –SiO ₂ Hasil Proses Sintering	13
3.3.5 Karkterisasi Komposit HAp-SiO ₂	14
3.3.6 Karakterisasi XRD	14
3.3.7 Karakterisasi SEM-EDS	14
3.3.8 Uji Karakterisasi Sifat Mekanik	15
3.3.9 Analisis Data	15

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Sintesis Kalsium Oksida dari Cangkang Telur Ayam Petelur	17
4.2 Hasil Sintesis Senyawa Hidroksiapatit	18
4.3 Hasil Sintesis komposit senyawa HAp:SiO ₂	18
4.4 Hasil Karakterisasi komposit senyawa HAp:SiO ₂	19
4.4.1 Hasil Karakterisasi XRD Hidroksiapatit dan komposit HAp:SiO	19
4.4.2 Hasil Karakterisasi Pengujian Sifat Mekanik pada Komposit HAp:SiO ₂	23
4.4.3 Hasil Karakterisasi Pengujian SEM-EDS	23

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran	33

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN.....

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pola XRD komposit hidroksiapatit	10
Gambar 2. Struktur mikro pada serbuk HAp dan komposit HAp:SiO ₂	11
Gambar 3. Serbuk Cangkang kulit telur ayam dan CaO Hasil dari Kalsinasi	17
Gambar 4. Senyawa Hidroksiapatit Hasil Sintesis.....	18
Gambar 5. Serbuk HAp:SiO ₂ hasil komposit berbagai perbandingan massa.....	19
Gambar 6. Difraktogram XRD hidroksiapatit dan komposit HAp:SiO ₂	21
Gambar 7. Grafik Hasil Analisa Uji Daya Tekan pada Komposit HAp:SiO ₂	24
Gambar 8. Grafik Hasil Analisa Uji Kekerasan pada Komposit HAp:SiO ₂	26
Gambar 9. Morfologi Hidroksiapatit Skala Perbesaran a) 5000x b) 10000x.....	29
Gambar 10. Morfologi HAp:SiO ₂ Skala Berbagai Perbesaran	30
Gambar 11. Data Spektra Hidroksiapatit	42
Gambar 12. Gambar Data JCPDS Hidroksiapatit	43
Gambar 13. Data Spektra HAp:SiO ₂ 9:1.....	44
Gambar 14. Data Spektra HAp:SiO ₂ 8:2.....	45
Gambar 15. Data Spektra HAp:SiO ₂ 7:3.....	46
Gambar 16. Data Spektra HAp:SiO ₂ 6:4.....	47
Gambar 17. Uji BnT Daya Tekan	55
Gambar 18. Uji BnT Kekerasan.....	57
Gambar 19. Data BnT Uji Modulus Young	59
Gambar 20. Gambar Perbesaran SEM 5000 x	60
Gambar 21. Gambar Hasil EDS Hidroksiapatiti	60
Gambar 22. Gambar Perbesaran SEM HAp:SiO ₂ 5000x	61
Gambar 23. Data EDS HAp:SiO ₂	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Puncak dengan Intensitas Tertinggi pada Analisa XRD.....	20
Tabel 2. Nilai Kristalinitas pada hidroksiapatit dan komposit HAp:SiO ₂	22
Tabel 3. Data Ukuran Kristal Komposit HAp:SiO ₂ pada berbagai variasi	23
Tabel 4. Hasil Karakterisasi Uji Sifat Mekanik Komposit HAp:SiO ₂	27
Tabel 5. Data Elemen penyusun pada Senyawa Hidroksiapatit dan Komposit	31
Tabel 6. Data Nilai Puncak Hidroksiapatit	42
Tabel 7. Data Puncak HAp:SiO ₂ 9:1	44
Tabel 8. Data Spektra HAp:SiO ₂ 8:2.....	45
Tabel 9. Data Spektra HAp:SiO ₂ 7:3.....	46
Tabel 10. Data Spektra HAp:SiO ₂ 6:4.....	47
Tabel 11. Data Analisa Kristalinitas	48
Tabel 12. Data Ukuran Kristal	49
Tabel 13. Hasil Uji Sifat Mekanik HAp:SiO ₂	50
Tabel 14. Hasil Analisa Uji Daya Tekan	51
Tabel 15. Hasil Analisa Uji Kekerasan	52
Tabel 16. Hasil Analisa Uji Modulus Young.....	53
Tabel 17. Tabel Deskriptif Uji Daya Tekan.....	54
Tabel 18. Tabel Uji Homogenitas Uji Daya Tekan.....	54
Tabel 19. Uji Anova Uji Daya Tekan	54
Tabel 20. Data Deskriptif Uji Kekerasan.....	56
Tabel 21. Data Homogenitas Uji Kekerasan.....	56
Tabel 22. Uji Anova Kekerasan	56
Tabel 23. Tabel Deskriptif Uji Modulus Young	58
Tabel 24. Data Homogenitas Uji Modulus Young	58
Tabel 25. Data Anova Uji Modulus Young	58
Tabel 26. Data % Massa Hidroksiapatit.....	62
Tabel 27. Data % Massa HAp:SiO ₂	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	39
Lampiran 2. Hasil Data Analisa XRD Hidroksiapatit.....	42
Lampiran 3. Data JCPDS No. 09-0432 tentang senyawa hidroksiapatit	43
Lampiran 4. Data Hasil Analisa XRD Komposit HAp:SiO ₂ 9:1.....	44
Lampiran 5. Data Hasil Analisa XRD Komposit HAp:SiO ₂ 8:2	45
Lampiran 6. Data Hasil Analisa XRD Komposit HAp:SiO ₂ 7:3.....	46
Lampiran 7. Data Hasil Analisa XRD Komposit HAp:SiO ₂ 6:4.....	47
Lampiran 8. Data Analisa Perhitungan % Kristalinitas Hidroksiapatit dan Komposit HAp:SiO ₂	48
Lampiran 9. Data Analisa Perhitungan Ukuran Kristal pada Hidroksiapatit dan Komposit HAp:SiO ₂	49
Lampiran 10. Hasil Uji Sifat Mekanik Komposit HAp:SiO ₂	50
Lampiran 11. Hasil Analisa Uji Daya Tekan (Compressive Stress)	51
Lampiran 12. Hasil Analisa Uji Kekerasan (Hardness Tester)	52
Lampiran 13. Hasil Analisa Uji Modulus Young (E)	53
Lampiran 14. Analisis Data Statistika Uji Daya Tekan (Compressive Test).....	54
Lampiran 15. Analisis Data Statistika Uji Kekerasan (Hardness Test)	56
Lampiran 16. Analisis Data Statistika Uji Kelenturan (Modulus Young)	58
Lampiran 17. Hasil Karakterisasi SEM-EDS Hidroksiapatit.....	60
Lampiran 18. Hasil Karakterisasi SEM-EDS Komposit HAp:SiO ₂ 6:4.....	61
Lampiran 19. Perhitungan Rasio Molar Ca/P Senyawa Hidroksiapatit	62
Lampiran 20. Perhitungan Rasio Molar Ca/P Komposit HAp:SiO ₂ 6:4	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Hidroksiapatit (HAp) merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, senyawa hidroksiapatit termasuk ke dalam jenis senyawa material apatit $[\text{M}_{10}(\text{XO}_4)_6\text{Z}_2]$ yang termasuk kedalam fase kristal dari senyawa polikristalin kalsium fosfat yang paling stabil. Persentase dari komposisi unsur penyusun pada material senyawa hidroksiapatit adalah Kalsium 39,9%, Posfor 18,5%, Hidrogen 0,2%, Oksigen 41,41% dengan nilai perbandingan rasio yang ideal antara kalsium dengan fosfat (Ca/P) adalah 1,67 (Kohn, 2004). Material hidroksiapatit adalah senyawa yang memiliki struktur kristal dengan komposisi senyawa yang hampir mirip dengan tulang dan gigi pada manusia (Yudyanto dkk., 2016). Hidroksiapatit bersifat osteokonduktif dan memiliki biokompabilitas yang baik sehingga dapat berperan untuk menggantikan jaringan keras pada manusia seperti pada tulang yang kaya akan mineral (Muntamah, 2011). Perbandingan rasio senyawa hidroksiapatit pada komposisi Ca/P diasumsikan sebesar 1,67 dimana memiliki nilai rasio yang hampir sama dengan perbandingan rasio pada mineral tulang Ca/P yang berkisar diantara 1,5 sampai 1,7. Hidroksiapatit menunjukkan biokompabilitas yang baik pada jaringan tubuh manusia seperti otot, kulit, tulang dan gusi gigi (Abdulrahman *et al.*, 2014).

Senyawa hidroksiapatit dapat disintesis dari limbah hewani seperti cangkang kerang dara, karang, cangkang telur dan tulang ayam (Gergely *et al.*, 2010), tulang sapi, tulang ikan dan cangkang kerang tiram yang memiliki kandungan sifat fisik yang hampir sama dengan struktur pori dan struktur kimia hidroksiapatit (Wu *et al.*, 2013). Limbah cangkang telur ayam bisa menjadi salah satu prekursor kalsium dalam sintesis hidroksiapatit. Kandungan senyawa kalsium karbonat yang tinggi menjadikan limbah cangkang telur ayam merupakan salah satu limbah yang berguna untuk sintesis biomaterial (Kamalanathan *et al.*, 2014).

Telur ayam petelur banyak dikonsumsi oleh kalangan masyarakat di Indonesia sebagai lauk pauk ataupun juga bahan untuk membuat produk makanan.

Menurut data dari badan pusat statistik tahun 2013, produksi telur ayam pada tahun 2012 di Indonesia mencapai 1.060.000 ton per tahun dan sekitar 11% dari kandungan keseluruhan telur itu adalah cangkang nya, sehingga limbah cangkang telur yang dihasilkan sebanyak 116.600 ton per tahun. Cangkang telur merupakan sumber mineral kalsium dan juga dapat menjadi bahan utama pembuatan hidroksiapatit. Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) dalam cangkang telur terdapat sekitar 94% (Mozartha dkk., 2015). Cangkang telur ayam kaya akan sumber mineral yang berfungsi untuk pengembangan sediaan obat dan gigi, suplemen kalsium, zat aditif makanan, komponen pupuk pertanian dan komponen untuk implan tulang (Oliveira *et al.*, 2013).

Untuk mensintesis hidroksiapatit dapat digunakan dengan berbagai macam metode (Wardani dkk., 2015). Beberapa metode sintesis hidroksiapatit tersebut diantaranya dengan metode pengendapan basah, *mechanochemical*, metode *sol gel* dan metode hidrotermal (Kamalanathan *et al.*, 2014). Sintesis hidroksiapatit dengan metode *sol gel* merupakan salah satu metode yang banyak diaplikasikan karena memiliki banyak keuntungan diantaranya menghasilkan zat yang murni, homogen, hanya membutuhkan temperatur rendah pada saat sintesisnya, mudah dalam pengaturan komposisi kandungan senyawa, serta peralatan yang relatif mudah dan sederhana (Sidiqa dkk., 2012). Proses produksi material hidroksiapatit dengan metode *sol gel* hanya membutuhkan biaya produksi yang rendah serta menghasilkan produk hidroksiapatit dengan kualitas yang sama dengan standar produksi material hidroksiapatit hasil dari skala industri lokal (Muntamah, 2011).

Silika merupakan senyawa yang umum biasanya digunakan sebagai agen pengomposit dengan senyawa lain. Silika juga telah banyak digunakan untuk mengisi permukaan suatu zat untuk meningkatkan sifat mekanik dan sifat antarmuka dari suatu serbuk atau padatan (Latifi *et al.*, 2011). Silika adalah senyawa kimia yang memiliki sifat biokompatibilitas dan tidak beracun dengan struktur kristal yang kuat dan keras serta berperan penting dalam implan tulang dan kalsifikasi (Taha *et al.*, 2020). Silika memiliki sifat kekuatan mekanik yang cukup tinggi, ketahanan terhadap retakan dan korosi yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dari hidroksiapatit jika dilakukan komposit (Yudyanto dkk., 2016). Silika yang dikompositkan dengan hidroksiapatit menggunakan

metode sol gel merupakan suatu sistem sintesis pada biomaterial yang sangat baik untuk teknologi implan dibandingkan dengan sistem organik lain seperti pada misel, liposom dan nanopartikel polimer (Sani *et al.*, 2019).

Berdasarkan latar belakang tersebut, pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit material hidroksiapatit dari cangkang telur ayam petelur dengan SiO_2 menggunakan prekursor tetraetilortosilikat (TEOS). TEOS yang dipakai untuk dilakukan komposit dengan hidroksiapatit ditambahkan dengan perbandingan rasio komposisi komposit HAp: SiO_2 yang berbeda (10:0, 9:1, 8:2, 7:3 dan 6:4), hal ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan rasio komposisi dengan sifat mekanik yang paling baik. Hidroksiapatit dan komposit HAp: SiO_2 hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan alat XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk menentukan kristalinitas serta ukuran kristal dan pengujian sifat mekanik untuk uji kekuatan tekan, uji kekerasan dan modulus young. Kedua uji ini dilakukan untuk mengetahui nilai dari komposisi komposit HAp: SiO_2 terbaik. Hasil dari komposisi komposit HAp: SiO_2 terbaik dilakukan analisis dengan menggunakan SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer*) untuk melihat dan mengetahui morfologi dari permukaan hidroksiapatit dan elemen yang terkandung dalam Hidroksiapatit dan komposit HAp: SiO_2 . Setelah itu, dilakukan analisis data dari seluruh nilai yang dihasilkan.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan SiO_2 dengan berbagai variasi rasio perbandingan massa pada sintesis komposit HAp: SiO_2 ?
2. Bagaimana karakteristik dan kristalinitas dari berbagai variasi komposit HAp: SiO_2 dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*)?
3. Bagaimana pengaruh pengujian sifat mekanik pada hidroksiapatit dan berbagai variasi komposit HAp: SiO_2 pada uji kekerasan dan uji daya tekan?
4. Bagaimana struktur morfologi dan komposisi unsur pada komposit terbaik menggunakan SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer*)?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mensintesis hidroksiapatit dan komposit HAp:SiO₂ dengan variasi perbandingan rasio massa 10:0, 9:1, 8:2, 7:3 dan 6:4.
2. Menentukan karakterisasi dan kristalinitas dari berbagai variasi komposit HAp:SiO₂ dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*).
3. Menentukan sifat mekanik terbaik dari berbagai variasi komposit HAp:SiO₂ pada uji kekerasan dan uji daya tekan.
4. Menentukan struktur morfologi dan komposisi unsur pada komposit terbaik menggunakan SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer*).

1.4. Manfaat

Penelitian ini berguna untuk pemanfaatan limbah cangkang telur ayam petelur yang mengandung kadar kalsium yang tinggi dan dapat di proses menjadi hidroksiapatit yang berfungsi dalam bidang biomedik sebagai penggantian tulang yang rusak, juga bisa sebagai penambal pada gigi. Selain itu juga manfaat lainnya untuk meningkatkan nilai ekonomis dari cangkang telur ayam petelur tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrahman, I. Tijani, H. I., Mohammed, B. A., Saidu, H., Yusuf, H., Jibrin, M. N. and Mohammed, S. 2014. From Garbage to Biomaterials: An Overview on Egg Shell Based Hydroxyapatite. *Journal of Materials*. 6(2014): 1-6.
- Adeogun, A. I., Ofudje, A. E., Idowu, M. A. dan Kareem, S. O. 2018. Facile Development of Nano Size Calcium Hydroxyapatite Based Ceramic from Eggshells: Synthesis and Characterization. *Waste and Biomass Valorization*. 8(9): 1469-1473.
- Afriani, F., Tiandho, Y., Evi, J., Indriawati, A., dan Rafsanjani, R. A.. 2019. Synthesis and characterization of hydroxyapatite/silica composites based on cockle shells waste and tin tailings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1(353): 1-4.
- Asadipour, K., Nezafati, N., Nourbakhsh, M. S., Hafezi-Ardakani, M. dan Bohlooli, S. 2019. Characterization and biological properties of a novel synthesized silicon-substituted hydroxyapatite derived from eggshell. *The International Journal of Artificial Organs*. 2(42): 95-108.
- Astika, D., Fadli, A., dan Yenty S. R. 2015. Kinetika Reaksi Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Sapi dengan Metode Presipitasi. *JOM FTEKNIK*. 2(2): 1-4.
- Besinis, A., Noort, V. R., and Martin, N. 2012. Infiltration of demineralized dentin with silica and hydroxyapatite nanoparticles. *Dental Materials*. 9(28): 1012-1023.
- Cahyaningrum, S. E. Herdyastuty, N., Dicky, S. dan Devina, Bella. 2017. Sintesis Hidroksiapatit Dari Cangkang Telur Menggunakan Metode Pengendapan Basah. *Prosiding Seminar Nasional Kimia UNY*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Dahlan, K., Prasetyanti, F., dan Sari, Y. W. 2009. Sintesis Hidroksiapatit dari Kulit Telur Menggunakan Dry Metode. *Jurnal Biofisika*. 5(2): 71 - 78.
- Garibay-Alvarado, J. A., Espinosa-Cristóbal, L. F., and Reyes-López, S.Y. 2017. Fibrous Silica-Hydroxyapatite Composite By Electrospinning. *International Journal of Research*. 2(5): 39-47.
- Gergely, G., Wéber, F., Lukács, I., Tóth, A. L., Horváth, Z. E., Mihály, J. and Balázs, C. 2010. Preparation and characterization of hydroxyapatite from eggshell. *Ceramics International* . 2(36): 803-806.

- Hariani, P. L., Riyanti, F., Rachmat, A. dan Herbanu, A. 2020. Removal of Pb (II) using Hydroxyapatite from Golden Snail Shell (*Pomacea canaliculata* L.) Modified with Silica. *Jurnal Molekul*. 2(15): 130-139.
- Hui, P., Meena, S. L., Singh, G., Agarawal, R and Prakash, S. 2010. Synthesis of Hydroxyapatite Bio-Ceramic Powder by Hydrothermal Method. *JMMCE*. 9(8): 683 – 692.
- Ibrahim, I. A. M., Zikry, A. A. F., and Sharaf, M. A. 2010. Preparation of spherical silica nanoparticles: Stober silica. *Journal of American Science*. 11(6): 985-989.
- Istifarah. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit dari Tulang Sotong (*Sepia S.P*) – Kitosan Untuk Kandidat Aplikasi Bone Filler. *Skripsi*. Surabaya: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.
- Kailasanathan, C and T, Gangadharan. 2016. Influence of Bio Inert Silica on Mechanical Properties and their dependence on Porosity of Nanocrystalline based Hydroxyapatite/Gelatin Composites Synthesized by coprecipitation Method. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 52(2): 52 – 61.
- Kamalanathan, P., Ramesh, S., Bang, L. T., Niakan, A., Tan, C. Y. and Purbolaksono, J. 2014. Synthesis and sintering of hydroxyapatite derived from eggshells as a calcium precursor. *Ceramics International*. 10(40): 16349-16359.
- Kehoe, S. 2008. Optimization of Hydroxyapatite (HAp) for Orthopaedic Application via the Chemical Precipitation Technique. *Thesis*. School of Mechanical and Manufacturing Engineering Dublin City University.
- Kohn, David H. 2004. *Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design*, Chapter 13. McGraw-Hill: New York.
- Kokubo, Tadashi. 2008. *Bioceramics and Their Clinical Applications: Cambridge England and Boca Raton*. USA: Scientific Research. 7(4): 605 – 615.
- Kumar, G. S., Thamizhavel, A., and Giriya, E. K. 2012. Microwave conversion of eggshells into flower-like hydroxyapatite nanostructure for biomedical applications. *Materials Letters*. 1(76): 198-200.
- Latifi, S. M., Fathi, M. H., and Golozar, M. A. 2011. Preparation and characterisation of bioactive hydroxyapatite-silica composite nanopowders via sol-gel method for medical applications. *Journal Advances in Applied Ceramics*. 1(110): 8-14.

- Liu, Y and M, Wang. 2007. Fabrication and Characteristics of Hydroxyapatite Reinforced Polypropylene as a Bone Analogue Biomaterial. *Journal of Applied Polymer Science*. 106: 2780 – 2790.
- Martoyo, Susilo. 2007. Manajemen Sumber Daya Manusia, Edisi 5, Cetakan Pertama. Yogyakarta. BPF.
- Mawadara, P. A., Mozartha, M. dan Trisnawaty, K. 2016. Pengaruh Penambahan Hidroksiapatit dari Cangkang Telur Ayam Terhadap Kekerasan Permukaan GIC. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*. 2(5): 8.
- Mozartha, M. 2015. Hidroksiapatit dan Aplikasinya di Bidang Kedokteran Gigi. *Journal of Visual Languages & Computing*. 3(11): 287-301.
- Muntamah. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Limbah Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa, sp.*). *Thesis*. Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nayoan, M. P., Sesa, E dan Darwis, D. 2016. Sintesa Hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) Dari Limbah Cangkang Telur Ayam Dengan Metode Presipitasi, Variasi Suhu Kalsinasi Dan Karakterisasi Menggunakan XRD. *Jurnal Gravitasi*. 15(2): 1-9.
- Nuriana, Wahidin. 2005. Sintesis Titanium – Hidroksiapatit. Disertasi Program Pascasarjana. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Oliveira, D. A., Benelli, P. and Amante, E. R. 2013. A literature review on adding value to solid residues: Egg shells. *Journal of Cleaner Production*. 1(46): 42-47.
- Ramesh, T., Bharadwaj, S., and Murthy, S. R. (2016). $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-SiO}_2$ Composites: Preparation and Magnetodielectric Properties. *Journal of Materials*, 2016(3), 1-7.
- Rao, K. S., El-Hami, K., Kodaki, T., Matsushige, K. and Makino, K. 2005. A novel method for synthesis of silica nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*. 1(289): 125-131.
- Sani, N. S., Malek, N. A. N. N., Jemon, K., Kadir, M. R. A. and Hamdan, H. 2019. Preparation and characterization of hydroxyapatite incorporated silica aerogel and its effect on normal human dermal fibroblast cells. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2(90): 422-433.

- Sidiqa, A. N. Djustiana, N., Sunendar, B. and Febrida, R. 2013. Surface Modification of Multilayer Coatings Ti-Al-Cr and Hydroxyapatite on Calcium Phosphate Cement with Sol-Gel Method. *Journal of Dentistry Indonesia*. 2(19): 43-46.
- Silva R C, Zuanon A C C, Candido M S M and Machado J S. 2007. *J. Matter. Sci: Mater. Med.* 18(1): 139.
- Susilowati, 2003. Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mikro dan Sifat Mekanik Resin Akrilik Tipe Head-Cured. *Skripsi*. Universitas Airlangga. Surabaya
- Taha, M. A., Youness, R. A. and Ibrahim, M. 2020. Biocompatibility, physico-chemical and mechanical properties of hydroxyapatite-based silicon dioxide nanocomposites for biomedical applications. *Ceramics International*. 15(46): 23599-23610.
- Tiandho, Y. 2017. Analisis Kuantitatif Pori Berdasarkan Pengolahan Citra Menggunakan Wolfram Mathematica. *Jurnal Ilmu Komputer*. 4(1): 15-23.
- Villacampa, A. I. and García-Ruiz, J. M. 2000. Synthesis of a new hydroxyapatite-silica composite material. *Journal of Crystal Growth*. 1(211): 111-115.
- Wadu, I., Soetjipto, H. dan Cahyanti, M. N. 2018. Sintesa dan Penentuan Kadar Kalsium-Fosfat Hidroksiapatit (HAp) dari Kerabang Telur Ayam. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*. 1(3): 3-7.
- Wahdah I., Sri W. dan Darjito. 2014. Sintesis Hidrosiapatit Dari Tulang Sapi Dengan Metode Basah Pengendapan. *Jurnal Mahasiswa Kimia*. 1(1): 92 – 97.
- Wardani, N. S., Fadli, A. dan Irdoni. 2020. Sintesis Hidroksiapatit dari Cangkang Telur dengan Metode Presipitasi. *JOM FTEKNIK*. 1(2): 37-39.
- Wu, Shih-Ching., Tsou, H. K., Hsu, H. C., Hsu, S. K., Liou, S. P. and Ho, W. F. 2013. A hydrothermal synthesis of eggshell and fruit waste extract to produce nanosized hydroxyapatite. *Ceramics International*. 7(39): 8183-8188.
- Xuan, Cai and Huan, Tong. 2008. Preparation and Characterization of Homogenous Chitosan, Pylactic acid/Hydroxyapatite Bone for Tissue. *Elsevier Journal*. 1 (1): 100-105
- Yudyanto, Y., Sugara, Y. D. dan Hartatiek. 2016. Pengaruh Nanosilika terhadap Kekerasan dan Porositas Nanokomposit HA-SiO₂ Berbasis Batuan Onyx Bojonegoro. *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*. 1(1): 13-