

**SKRIPSI**

**PENGEMBANGAN KERAMIK HIDROKSIAPATIT  
TERDOPING TEMBAGA 3; 3,5; 4 MOL PADA  
SINTERING 1200°C**



**M. PONCO WAHYU DEVOTA  
03051381823088**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2022**

**SKRIPSI**  
**PENGEMBANGAN KERAMIK HIDROKSIAPATIT**  
**TERDOPING TEMBAGA 3; 3,5; 4 MOL PADA**  
**SINTERING 1200°C**

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



**OLEH**  
**M. PONCO WAHYU DEVOTA**  
**03051381823088**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2022**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**PENGEMBANGAN KERAMIK HIDROKSIAPATIT**  
**TERDOPING TEMBAGA 3; 3,5; 4 MOL PADA SINTERING**  
**1200°C**

**SKRIPSI**

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

**Oleh:**  
**M. PONCO WAHYU DEVOTA**  
**03051381823088**



**Mengetahui**  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

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

Palembang, Desember 2022

**Pembimbing Skripsi**

**Gunawan, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP.197705072001121001**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**Agenda No.** :  
**Diterima Tanggal** :  
**Paraf** :

---

## **SKRIPSI**

**NAMA** : M. PONCO WAHYU DEVOTA

**NIM** : 03051381823088

**JURUSAN** : TEKNIK MESIN

**JUDUL SKRIPSI** : PENGEMBANGAN KERAMIK HIDROKSIAPATIT  
TERDOPING TEMBAGA 3; 3,5; 4 MOL PADA  
SINTERING 1200°C.

**DIBUAT TANGGAL** : MARET 2022

**SELESAI TANGGAL** : DESEMBER 2022

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**



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

Palembang, Desember 2022  
**Diperiksa dan Disetujui oleh:**  
**Pembimbing**

**Gunawan, S.T, M.T, Ph.D.**  
**NIP.197705072001121001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Pengembangan Keramik Hidroksiapatit Terdoping Tembaga 3; 3,5; 4 Mol Pada Sintering 1200°C” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Desember 2022.

Palembang, 15 Desember 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi

Ketua Penguji:  
Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T  
NIP. 195903211987031001




(.....)

Sekretaris Penguji:  
Barlin, S.T, M.Eng, Ph.D  
NIP. 198106302006041001



(.....)

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



(.....)

Palembang, Desember 2022

Diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Skripsi

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yam. S.T., M.Eng., Ph.D.  
NIP. 197112251997021001



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

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Ponco Wahyu Devota

NIM : 03051381823088

Judul : Pengembangan Keramik Hidroksiapatit Terdoping Tembaga 3;  
3,5; 4 Mol Pada Sintering 1200°C.

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 ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Desember 2022



M. Ponco Wahyu Devota

NIM: 03051381823088

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Ponco Wahyu Devota

NIM : 03051381823088

Judul : Pengembangan Keramik Hidroksiapatit Terdoping Tembaga 3;  
3,5; 4 Mol Pada Sintering 1200°C.

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

Demikian, saya buat pernyataan ini dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Desember 2022



M. Ponco Wahyu Devota

NIM: 03051381823088

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dalam rangka Tugas Akhir (Skripsi) yang dibuat untuk memenuhi syarat mengikuti Seminar dan Sidang Sarjana pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “Pengembangan Keramik Hidroksiapatit Terdoping Tembaga 3; 3,5; 4 Mol Pada Sintering 1200°C.”

Dalam penyusunan tulisan laporan ini, penulis ingin mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberi bimbingan dalam proses penyelesaian skripsi ini. Terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Purn. IPTU Suparno dan Ibu Karlin Erika selaku orang tua penulis yang selalu mendukung baik secara lahir maupun batin, serta Taufan Sumarlin, Nina Augustin, Naini Nova, dan Desti Anggraeni sebagai keempat saudara kandung yang selalu ada untuk adiknya.
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, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Pembimbing Skripsi yang telah banyak memberikan arahan serta saran dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Farisan Kasfi Al-Bajili, Lukman Nul Hakim dan Afif Falah selaku partner dalam penelitian.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak sekali kekurangan karena 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 dapat memberikan manfaat serta kontribusi di dalam dunia pendidikan dan industri serta bagi kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.



Palembang, Desember 2022

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ponco', with a large, stylized initial 'P'.

M. Ponco Wahyu Devota

NIM. 03051381823088

## RINGKASAN

PENGEMBANGAN KERAMIK HIDROKSIAPATIT TERDOPING TEMBAGA  
3; 3,5; 4 MOL PADA SINTERING 1200°C

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 15 Desember 2022

M. Ponco Wahyu Devota, dibimbing oleh Gunawan, S.T., M.T., Ph.D.

LXXIV+ 74 Halaman, 10 Tabel, 14 Gambar, 2 Lampiran

### RINGKASAN

Pengaplikasian biokeramik dalam bidang medis sudah banyak dipakai dan salah satunya ialah hidroksiapatit. Hidroksiapatit merupakan salah satu senyawa anorganik penyusun jaringan keras (*hard tissue*) tubuh manusia seperti tulang, gigi, dentin dan lain sebagainya. Hidroksiapatit dipilih karena mempunyai komposisi mineral yang sama seperti tulang dan gigi, tidak menimbulkan efek racun, dapat langsung membentuk ikatan dengan jaringan tubuh, serta memiliki karakter biokompabilitas dan bioaktif yang sangat baik. Pada penelitian ini tulang sapi dipilih sebagai bahan dasar sintesis Hidroksiapatit dan Tembaga dipilih sebagai doping. Tembaga dipilih sebagai doping karena berpotensi pro-angionenik, dengan demikian dapat berkontribusi pada pembentukan tulang dan aktivitas antimikroba dan diharapkan dapat meningkatkan sifat biologis serta mekaniknya. Pada sintesis keramik HAp terdoping CuO, dilakukan dengan proses *solid state sintering* pada suhu 1200°C dengan heating rate 5°C/menit dengan *holding time* 30 menit. Dari perhitungan *shrinkage* menunjukkan bahwa penyusutan pada sampel akan semakin besar jika semakin tinggi temperatur sintering dan semakin banyak komposisi mol CuO. Dari Pengujian densitas untuk mengetahui sifat fisik dan porositas pada sampel, menunjukkan bahwa porositas atau kerapatan pada sampel akan semakin kecil jika semakin tinggi temperatur sintering dan semakin banyak komposisi mol CuO. Dan pada pengujian XRD untuk mengetahui sifat kimia dan mengidentifikasi fasa pada sampel. Kemudian

pada penelitian ini, terdapat beberapa sampel yang tidak bisa diuji dikarenakan sampel tersebut hancur setelah pengujian densitas dan akibat di sintering yang membuat keramik HAp dan CuO tidak saling mengikat dan terdapat sampel yang terdegradasi akibat di sintering 1200°C yang membuat unsur CuO yang didoping pada keramik HAp mencapai titik lelehnya, sehingga unsur CuO melebur.

**Kata Kunci:** Hidroksiapatit, Tembaga (II) Oksida (CuO), *Solid State Sintering*, Tulang Sapi

## SUMMARY

### DEVELOPMENT OF 3; 3,5; 4 MOL COPPER-DOPED HYDROXYAPATITE CERAMICS AT 1200°C SINTERING

Pattern Scientific papers in the form of Undergraduate Thesis, 15 December 2022

M. Ponco Wahyu Devota, Supervised by Gunawan, S.T., M.T., Ph.D.

LXXIV+ 74 Pages, 10 Tabela, 14 Pictures, 2 Attachments

### SUMMARY

The application of bioceramics in the medical field has been widely used and one of them is hydroxyapatite. Hydroxyapatite is one of the inorganic compounds that make up the hard tissue of the human body such as bones, teeth, dentin and so on. Hydroxyapatite was chosen because it has the same mineral composition as bone and teeth, does not cause toxic effects, can directly form bonds with body tissues, and has excellent biocompatibility and bioactive characteristics. In this study, beef bone was chosen as the basic material for the synthesis of Hydroxyapatite and Copper was chosen as doping. Copper was chosen as a doping because it has the potential to be pro-angiogenic, thereby contributing to bone formation and antimicrobial activity and is expected to improve its biological and mechanical properties. In the synthesis of CuO-doped HAp ceramics, the solid state sintering process was carried out at temperatures of 1200°C with a heating rate of 5°C/minute with a holding time of 30 minutes. The shrinkage calculation shows that the shrinkage in the sample will be greater if the sintering temperature is higher and the composition of CuO moles is greater. From the density test to determine the physical properties and porosity of the sample, it shows that the porosity or density of the sample will be smaller if the sintering temperature is higher and the composition of CuO moles increases. And in the XRD test to determine the chemical properties and identify the phase in the sample. Then in this study, there were several samples that could not be tested

because the samples were destroyed after density testing and resulted in sintering which made the HAp and CuO ceramics not binding to each other and there were samples that were degraded due to 1200°C sintering which made the CuO element doped the HAp ceramic reaches its melting point, so the CuO element melts.

**Keyword:** Hydroxyapatite, Copper (II) Oxide (CuO), Solid State Sintering, Bovine Bone

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	v
HALAMAN PERSETUJUAN AGENDA .....	vii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ix
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	xi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....	xiii
KATA PENGANTAR .....	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMMARY .....	xix
DAFTAR ISI .....	xxi
DAFTAR GAMBAR .....	xxv
DAFTAR TABEL.....	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.4    Tujuan Penelitian.....	3
1.5    Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1    Biomaterial.....	5
2.2    Klasifikasi Biomaterial .....	6
2.2.1    Biomaterial Polimer .....	6
2.2.2    Biomaterial Komposit.....	6
2.2.3    Biomaterial Keramik.....	7
2.2.4    Biomaterial Logam .....	8
2.3    Tulang .....	8
2.3.1    Tulang Sapi .....	10
2.4    Hidroksiapatit.....	11
2.4.1    Sifat Kimia Hidroksiapatit .....	12
2.4.2    Sifat Fisik Hidroksiapatit .....	13
2.4.3    Sifat Mekanik Hidroksiapatit .....	13

2.5	Metode Hidroksiapatit .....	14
2.5.1	Metode <i>Sol-gel</i> .....	14
2.5.2	Metode Kering.....	15
2.5.3	Metode <i>Vibro-milling</i> .....	15
2.6	Kompaksi .....	16
2.7	Sintering.....	16
2.8	Mekanisme Ikatan Sintering .....	18
2.8.1	<i>Solid State Sintering</i> .....	18
2.8.2	<i>Liquid Phase Sintering</i> .....	19
2.8.3	<i>Vapour Phase Sintering</i> .....	19
2.9	Tembaga (II) Oksida.....	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		21
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	21
3.2	Alat dan Bahan .....	22
3.3	Persiapan Bahan Pembuatan Hidroksiapatit .....	22
3.4	Prosedur Penelitian .....	23
3.4.1	Persiapan Bahan Baku Pembuatan Biomaterial Hidroksiapatit.....	23
3.4.2	Persiapan Hidroksiapatit .....	25
3.4.3	Pembuatan Keramik Hidroksiapatit.....	26
3.5	Metode Pengujian.....	26
3.5.1	Pengujian Densitas.....	27
3.5.2	<i>Shrinkage</i> .....	28
3.5.3	Pengujian <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	28
3.6	Jadwal Kegiatan .....	28
3.7	Analisa dan Pengolahan Data .....	29
BAB 4 HASIL DAN DATA .....		31
4.1	Hasil Pengujian Densitas .....	31
4.2	<i>Shrinkage</i> .....	34
4.3	Hasil Pengujian XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	35
4.3.1	Hasil Pengujian XRD Sampel Keramik Hidroksiapatit Terdoping CuO.....	36
BAB 5 KESIMPULAN.....		39
5.1	Kesimpulan .....	39

DAFTAR PUSTAKA .....	41
LAMPIRAN .....	45



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tulang Femur .....	11
Gambar 3. 1 Skema Diagram Alir .....	21
Gambar 3. 2 Tulang sapi yang telah dikumpulkan .....	23
Gambar 3. 3 Proses perebusan tulang sapi.....	24
Gambar 3. 4 Proses pengeringan tulang.....	24
Gambar 3. 5 Tulang sapi yang sudah dipotong dan siap diolah.....	25
Gambar 3. 6 Alat <i>ball mill</i> .....	25
Gambar 4. 1 Grafik rata-rata porositas dari spesimen HAp 3; 3,5; dan 4 mol CuO pada temperatur 1200°C.....	33
Gambar 4. 2 Grafik persentase rata-rata nilai <i>shrinkage</i> pada temperatur 1200°C .....	35
Gambar 4. 3 Spektrum hasil uji XRD keramik HAp terdoping 3 mol CuO pada temperatur 1200°C.....	36
Gambar 4. 4 Spektrum hasil uji XRD keramik HAp terdoping 3,5 mol CuO pada temperatur 1200°C.....	36
Gambar 4. 5 Spektrum hasil uji XRD keramik HAp terdoping 3,5 mol CuO pada temperatur 1200°C.....	37
Gambar 4. 6 Spektrum hasil uji XRD keramik HAp terdoping 4 mol CuO pada temperatur 1200°C.....	37
Gambar 4. 7 Spektrum hasil uji XRD keramik HAp terdoping 4 mol CuO pada temperatur 1200°C.....	38

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Mekanik Biomaterial Polimer.....	6
Tabel 2. 2 Sifat-sifat mekanik dari material alumina dan zirkona.....	8
Tabel 2. 3 Sifat sifat mekanik dari material .....	8
Tabel 2. 4 Kandungan mineral tulang manusia .....	9
Tabel 2. 5 Sifat-sifat makroskopoik pada tulang manusia .....	10
Tabel 2. 6 Sifat makroskopik HAp .....	12
Tabel 4. 1 Data pengujian densitas serta porositas keramik HAp terdoping CuO dengan 3 mol pada temperatur 1200°C.....	32
Tabel 4. 2 Data pengujian densitas serta porositas keramik HAp terdoping CuO dengan 3,5 mol pada temperatur 1200°C.....	32
Tabel 4. 3 Data pengujian densitas serta porositas keramik HAp terdoping CuO dengan 4 mol pada temperatur 1200°C.....	33
Tabel 4. 4 Data pengujian <i>shrinkage</i> keramik HAp terdoping CuO pada temperatur 1200°C.....	34

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era modern ini kebutuhan akan material sangat diperlukan untuk pembangunan dan merupakan komponen yang penting dalam bidang teknik terutama teknik mesin yang sebagian besar membutuhkan material sebagai media nyata setelah rancangan untuk menyelesaikan suatu proyek penelitian. Di wilayah Indonesia memiliki potensi bahan keramik sehingga diperlukan pemahaman proses sintering yang memadai untuk memperoleh karakteristik produk yang diharapkan sesuai kebutuhan bidang rekayasa (Sulistyo, 2018).

Dalam tahapan pembuatan bahan keramik, proses pembakaran merupakan proses yang sangat menentukan sifat bahan. Suhu pembakaran ditentukan oleh bahan dasar yang dipakai dan fungsi bahan yang ingin dibuat. Bahan dasar yang dipakai dapat digolongkan sebagai bahan teknis yang rendah kemurniannya atau bahan p.a (proanalysis) yang tinggi kemurniannya. Dengan proses pembakaran, berbagai bahan yang tidak perlu dapat hilang agar bahan dengan komposisi dan sifat tertentu yang diinginkan terbentuk. Agar proses pembakaran efektif dan efisien, perlu dilakukan analisis termal dan campuran bahan bakar (Ramlan dan Bama, 2011).

Biokeramik memiliki sifat yang tidak beracun dan paling banyak digunakan untuk mengganti fungsi jaringan atau organ pada tubuh manusia. Hidroksiapatit (HAp) adalah bagian turunan dari kalsium fosfat yang paling banyak digunakan dalam pelapisan atau *cements* pada tulang karena memiliki sifat *biocompatible* yang sangat baik (Gunawan dkk., 2019). Dalam membuat hidroksiapatit ada beberapa metode yang dapat digunakan, yaitu metode presipitasi, hidrotermal, *sol-gel*, elektrokompresi, dan lain sebagainya (Pinangsih dkk., 2014). Pengoptimalan dengan menambah variasi lama waktu sintering (lama waktu pemanasan suhu tinggi) bertujuan untuk mendapatkan hidroksiapatit berpori

dengan ukuran diameter pori dan porositas yang efektif untuk pertumbuhan tulang baru serta meningkatkan sifat mekanik *compressive strength* (Nurmanta dkk., 2013). Penelitian sebelumnya menyimpulkan variasi lama waktu sintering yang diberikan pada sampel tersebut berpengaruh kepada ukuran pori, sifat mekanik, porositas, kuat tekan dan pergeseran puncak pada hasil uji FTIR sampel hidroksiapatit berpori. Ukuran pori dan porositas sampel akan menurun seiring dengan lamanya waktu sintering, begitu pula dengan nilai uji kuat tekan yang meningkat jika waktu sinteringnya semakin lama (Nurmanta dkk., 2013).

Berdasarkan uraian yang telah dituliskan diatas maka akan dilakukan penelitian berbahan dasar keramik hidroksiapatit yang berjudul: “Pengembangan keramik hidroksiapatit terdoping tembaga 3; 3,5; dan 4 mol pada sintering 1200°C”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Penelitian menggunakan media keramik terutama keramik hidroksiapatit berbahan dasar dari tulang sapi sudah mulai banyak dilakukan penelitian-penelitian serupa. Namun pada penelitian kali ini menggunakan tembaga sebagai campuran berupa doping dengan menggunakan persentase molaritas dalam proses sinteringnya.

Suhu sintering yang biasa digunakan untuk bahan keramik diatas 1000°C. Pada penelitian ini akan dilihat bagaimanakah kualitas dari keramik hidroksiapatit terdoping tembaga dengan menggunakan persentase molaritas dan pada suhu yang telah ditentukan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tembaga dipilih sebagai elemen doping karena fungsinya untuk meningkatkan sifat angiogenik dan antibakteri hidroksiapatit. Doping tembaga pada hidroksiapatit telah dikembangkan melalui beberapa penelitian sebelumnya, seperti metode presipitasi, metode hidrotermal, metode suspensi, dalam dimana hidroksiapatit diperoleh melalui reaksi kimia. Dalam penelitian ini, hidroksiapatit akan disintesis dari tulang sapi, sedangkan

tembaga murni didoping dengan CuO. Untuk mengetahui pengaruh suhu sintering pada keramik hidroksiapatit, perlu dilakukan karakterisasi hasil proses *solid-state sintering* pada suhu 1200°C pada beberapa persentase mol.

### 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan dasar hidroksiapatit yang digunakan berasal dari tulang sapi.
2. Untuk melakukan doping tembaga menggunakan reaksi *solid state sintering*.
3. Pada *solid state sintering* menggunakan temperatur sintering 1200°C.
4. Untuk mengkarakterisasi sifat kimia, fisik dan mekanik keramik hidroksiapatit terdoping tembaga.
5. Variabel CuO yang digunakan yaitu 3; 3,5; dan 4 mol.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menghasilkan keramik hidroksiapatit terdoping tembaga dengan menggunakan reaksi *solid state sintering*.
2. Untuk menganalisis pengaruh temperatur sintering pada pembuatan keramik hidroksiapatit terdoping tembaga
3. Untuk mengkarakterisasi sifat kimia, sifat fisik dan sifat mekanik keramik hidroksiapatit terdoping tembaga.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan agar dapat membantu menentukan temperatur yang optimal selama sintering khususnya *solid state sintering* untuk menghasilkan kualitas terbaik pada keramik hidroksiapatit terdoping tembaga. Serta dapat digunakan untuk pengembangan pada penelitian yang akan datang terkhusus untuk pembuatan keramik hidroksiapatit berbahan dasar tulang sapi.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Shokrani, V. Dhokia, S. T. Newman, 2016. Comparative Investigation On Using Cryogenic Machining In Cnc Milling Of Ti-6al-4v Titanium Alloy. *J. Manuf. Processes*, Volume 21, Pp. 172-179.
- Altintas, Y., 2012. *Manufacturing Automation : Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, And Cnc Design*. New York, Melbourne, Madrid, Cape Town: Cambridge University Press.
- Amrifan Saladin Mohruni, Muhammad Yanis, Safian Sharif, Irsyadi Yani, Erna Yuliwati, Ahmad Fauzi Ismail, And Zamree Shayfull, 2017. A Comparison Rsm And Ann Surface Roughness Models In Thin-Wall Machining Of Ti6al4v Using Vegetable Oils Under Mql-Condition. *Aip Conference Proceedings*, Issue Doi: 10.1063/1.5002355.
- Antonio Scippa, Niccolò Grossia, And Gianni Campatellia, 2014. Fem Based Cutting Velocity Selection For Thin Walled Part Machining. *Procedia Cirp* 14, Issue Doi: 10.1016/J.Procir.2014.03.023, P. 287 – 292.
- Budak E, Altintas Y, 1998. Analytical Prediction Of Chatter Stability In Milling-Part Ii: General Formulation. *J Dyn Syst – T Asme*, Pp. 22-30.
- Chua, C.K. And Leong K.F, 2014. *3d Printing And Additive Manufacturing: Principles And Application*. 4th Ed. Singapore: World Scientific.
- Faassen Rph, Wouw Vdn, Nijimeijer H, Oosterling Jaj, 2007. An Improved Tool Path Model Including Periodic Delay For Chatter Prediction In Miling. *J Comput Nonlinear Dyn*, Volume 2, Pp. 167-179.
- Gibson, I., Rosen, D.W., And Stucker, B, 2010. *Additive Manufacturing Technologies*. Boston: Springer.
- Gong, X., Et Al., 2014. Review On Power-Based Electron Beam Additive Manufacturing Technology. *Manufacturing Review*, Volume 1, Pp. 1-12.
- Jiahao Shi, Qinghua Song , Zhanqiang Liu, Yi Wan, 2017. Formulating A Numerically Low-Cost Method Of A Constrained Layer Damper For Vibration Suppression In Thin-Walled Component Milling And Experimental Validation. *International Journal Of Mechanical Sciences*, Volume 128-129, Pp. 294-311.
- Koike, M., Et Al, 2011. Evaluation Of Titanium Alloys Fabricated Using Rapid Prototyping Technologies—Electron Beam Melting And Laser Beam Melting. *Materials*, Volume 4, Pp. 1776-1792.
- Kolluru K , Aximte D , Becker A , 2013. A Solution For Minimising Vibrations In Milling Of Thin Walled Casings By Applying Dampers To Workpiece Surface. *Cirp Ann-Manuf Technology*.
- L. Arnaud, O. Gonzalo, S. Seguy, H. Jauregi And G. Peigné, 2011. Simulation Of Low Rigidity Part Machining Applied To Thin-Walled Structures. *International Journal Adv. Manuf. Technology*, Volume 54, P. 479–488.

- Lourens Daniel Delporta, Pieter Johannes Theron Conradiea, Gert Adriaan Oosthuizen, 2017. Suitable Clamping Method For Milling Of Thin-Walled Ti6al4v Components. *Procedia Manufacturing*.
- Luo M, Mei Jw, Zhang Dh, 2015. Time-Domain Modeling Of A Cutter Exiting A Workpiece In The Slot Milling Process. *Chinese J Aeronaut*, Pp. 1852-1858.
- Min Wan, Xue-Bin Dang, Wei-Hong Zhang, Yun Yang, 2018. Optimization And Improvement Of Stable Processing Condition By Attaching Additional Masses For Milling Of Thin-Walled Workpiece. *Mechanical Systems And Signal Processing*, 103(Doi.Org/10.1016/J.Ymssp.2017.10.008), P. 196–215.
- Moradi H, Vossoughi G, Behzad M, 2015. Vibration Absorber Design To Suppress Regenerative Chatter In Nonlinear Milling Process: Application For Machining Cantilever Plates. *Appl Math Model*, Volume 39, Pp. 600-620.
- Nambi Muthukrishnan, Paulo Davim, 2011. Influence Of Coolant In Machinability Of Titanium Alloy (Ti-6al-4v). *Journal Of Surface Engineered Materials And Advanced Technology*, Volume 1, Pp. 9-14.
- R Izamshah, J P T Mo, And S Ding, N.D. Hybrid Deflection Prediction On Machining Thin-Wall Monolithic Aerospace Components. *Proc. ImechE*, Issue Doi: 10.1177/0954405411425443.
- S. Herranz, F. J. Campa, L. N. López, A. Rivero, A. Lamikiz, E. Ukar, J. A. Sánchez And U. Bravo, 2005. The Milling Of Airframe Components With Low Rigidity: A General Approach To Avoid Static And Dynamic Problems. *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part B: Journal Of Engineering Manufacture*, Volume 219 No.11, Pp. 789-801.
- Sebastien Seguy, Gilles Dessein, Lionel Arnaud, 2008. Surface Roughness Variation Of Thin Wall Milling, Related To Modal Interactions. *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 48(Doi:10.1016/J.Ijmachtools.2007.09.005), Pp. 261-274.
- Songlin D., R. Izamshah R.A, John P.T Mo, Y. Zhu, 2011. The Development Of An Economic Model For The Milling Of Titanium Alloys. *Journal Key Engineering Materials*, Volume 458, Pp. 362-367.
- Songlin D., R. Izamshah R.A, John P.T Mo, And Q. Liu, 2011. Online Tool Life Prediction In The Machining Of Titanium Alloys. *Journal Key Engineering Materials*, Volume 458, Pp. 355-361.
- Songlin Ding, R. Izamshah R.A, John Mo, And Yongwei Zhu, 2011. Chatter Detection In High Speed Machining Of Titanium Alloys. *Key Engineering Materials*, 458( Doi:10.4028), Pp. 289-294.
- Totis G, Albertelli P, Sortino M, Monno M, 2014. Efficient Evaluation Of Process Stability In Milling With Spindle Speed Variation By Using The



Chebyshev Collocation Method. *Sound Vibration*, Pp. 646-668.

- Yang Y, Xie R, Liu Q, 2016. Design Of A Passive Damper With Tunable Stiffness And Its Application In Thin-Walled Part Milling. *International Journal Advance Manufacture Technology*, Issue Doi: 10.1007/ S00170-016- 9474- 7.
- Yihong Kok, Xipeng Tan, Shu Beng Tor, And Chee Kai Chua, 2015. Fabrication And Microstructural Characterisation Of Additive Manufactured Ti-6al-4v Parts By Electron Beam Melting.
- Zhou X, Zhang Dh, Luo M, Wu Bh, 2015. Chatter Stability Prediction N Four-Axis Milling Of Aero-Engine Casings With Bull-Nose End Mill. *Chinese J Aeronaut*, Pp. 1766-1773.
- Adi Puspa, K. dan Asmi, D. (2014) “Sintesis dan Karakterisasi Biokeramik Hidroksiapatit Bahan Tulang Sapi pada Suhu 800-1100,” *Teori dan Aplikasi Fisika*, 02(02), hal. 125–130.
- Anjarsari et al. (2016) “Sintesis dan Karakterisasi Biokomposit BCP/Kolagen Sebagai Material Perancah Tulang,” *Jphpi*, 19(3), hal. 356–361. doi:10.17844/jphpi.2016.19.3.356.
- Anwar SA, S. (2014) “Analisa Karakteristik Dan Sifat Mekanik Scaffold Rekonstruksi Mandibula Dari Material Bhipasis Calcium Phosphate Dengan Penguat Cangkang Kerang Srimping Dan Gelatin Menggunakan Metode Functionally Graded Material,” hal. 35–40.
- Hendra Saputra, A.A., Triyono, J. dan Triyono, T. (2017) “Bovine Bone Hidroksiapatite Materials Mechanics Properties at 900°C and 1200°C of Calcination Temperature,” *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*, 16(1), hal. 26–30. doi:10.20961/mekanika.v16i1.35050.
- Nur Alam, D.S., Ambardi, P. dan Prajitno, D.H. (2019) “Pengaruh Perlakuan Pelarutan Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Paduan Terner Zr-Nb-Mo Untuk Biomaterial,” *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 13(1), hal. 15–22. doi:10.29122/mipi.v13i1.3089.
- Rahmayuni zein, U., Anggresani, L. dan Yulianis (2020) “Pengaruh waktu sintering terhadap hidroksiapatit berpori tulang ikan tenggiri dengan proses sol-gel,” *Chempublish Journal*, 5(1), hal. 46–56. doi:10.22437/chp.v5i1.8686.
- Ramlan dan Bama, A.A. (2011) “Pengaruh Suhu dan Waktu Sintering terhadap Sifat Bahan Porselen.”
- Riyanto, B. dan Maddu, A. (2013) *Material Biokeramik Berbasis Hidroksiapatit Tulang Ikan Tuna Material of Hydroxyapatite-Based Bioceramics from Tuna Fishbone.*
- Sedyono, J. et al. (2009) “Karakterisasi Xrd Dan Ftir Biomaterial Hidroksiapatit Dari Gypsum Alam Kulon Progo Sebelum Dan Sesudah Disinter Pada Temperatur 1400 0C,” 6(1), hal. 63–67.

- Siagian, H. dan Martha, H. (2012) “Studi Pembuatan Keramik Berpori Berbasis Clay dan Kaolin Alam dengan Aditif Abu Sekam Padi,” *Penelitian Sainika (Sains, Teknologi dan Rekayasa)*, 12(1), hal. 14–23.
- Suwanda, T. et al. (2006) *Optimalisasi Tekanan Kompaksi, Temperatur Dan Waktu Sintering Terhadap Kekerasan Dan Berat Jenis Aluminium Pada Proses Pencetakan Dengan Metalurgi Serbuk.*
- Vakifahmetoglu, C. dan Karacasulu, L. (2020) “Cold sintering of ceramics and glasses: A review,” *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 24(1). doi:10.1016/j.cossms.2020.100807.
- Zainuri, M., Fisika, J. dan Negeri, U. (2012) “(Batuan Dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO<sub>3</sub> DAN SiO<sub>2</sub>),” *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA) ISSN: 2087-9946*, 2(1), hal. 20–29.