

No. Dok: sbg0  
Copy: 1

U  
610-28  
Lum  
S

**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT**  
**HIDROKSIAPATIT-KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL (PVA)**  
**SEBAGAI APLIKASI BIOMATERIAL**



**OLEH :**

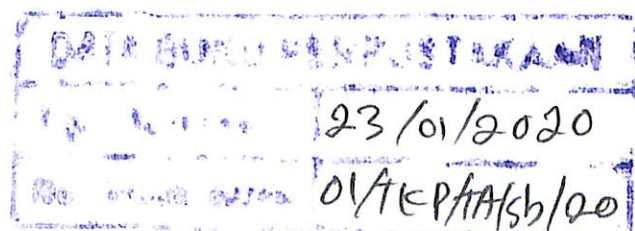
**ASSYFAH NUR LUMONGGA**

**(1514022)**

**INTAN FEBRIYANTI**

**(1514019)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER**  
**POLITEKNIK STMI JAKARTA**  
**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI**  
**2018**



**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT**  
**HIDROKSIAPATIT-KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL (PVA)**  
**SEBAGAI APLIKASI BIOMATERIAL**

**Diajukan sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik**  
**Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI**  
**Jakarta**



**OLEH :**

**ASSYFAH NUR LUMONGGA (1514022)**

**INTAN FEBRIYANTI (1514019)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER**  
**POLITEKNIK STMI JAKARTA**  
**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI**

**2018**

**POLITEKNIK STMI JAKARTA**  
**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I**  
**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

JUDUL PENELITIAN:

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL(PVA) SEBAGAI APLIKASI BIOMATERIAL

DISUSUN OLEH :  
NAMA : INTAN FEBRIYANTI  
NIM : 1514019  
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta.

Jakarta, Agustus 2018

Menyetujui

Ketua Program Studi  
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA.  
NIP. 195405231980031004

Dosen Pembimbing



Fitria Ika Arvanti, S.T., M.Eng.  
NIP. 198505112014022001

**POLITEKNIK STMI JAKARTA**  
**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI**  
**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

JUDUL PENELITIAN:  
SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-  
KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL (PVA) SEBAGAI APLIKASI  
BIOMATERIAL  
DISUSUN OLEH :  
NAMA : ASSYFAH NUR LUMONGGA  
NIM : 1514022  
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik  
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta.

Jakarta, Agustus 2018

Menyetujui

Ketua Program Studi  
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA.  
NIP. 195405231980031004

Dosen Pembimbing



Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng.  
NIP. 198505112014022001

**POLITEKNIK STMI JAKARTA**  
**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I**  
**BAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS**  
**AKHIR**

TITEL PENELITIAN:

ANALISIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-  
POLIVINIL ALKOHOL(PVA) SEBAGAI APLIKASI  
MATERIAL

DIPERSUN OLEH :

NAMA : INTAN FEBRIYANTI

NIM : 1514019

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Diuji oleh Tim Penguji Seminar Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia  
pada Politeknik STMI Jakarta pada hari Selasa, 14 Agustus 2018.

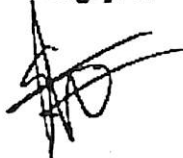
Jakarta, Agustus 2018

Penguji I



Rochmi Widjajanti, M.Eng  
NIP. 195609101984032002

Penguji II



Dr. Erfina Oktariani, S.T, M.T.  
NIP. 198210012014022001

Dosen Pembimbing



Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng.  
NIP. 198505112014022001

**OLITEKNIK STMI JAKARTA**  
**ENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I**  
**SAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS**  
**AKHIR**

N:


**KARAKTERISASI KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-  
IL ALKOHOL(PVA) SEBAGAI APLIKASI**

:  
: ASSYFAH NUR LUMONGGA  
: 1514019  
: TEKNIK KIMIA POLIMER

Penguji Seminar Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia  
STMI Jakarta pada hari Selasa, 14 Agustus 2018.

Jakarta, Agustus 2018

I  
  
anti, M.Eng  
84032002

Penguji II  
  
Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.  
NIP. 198210012014022001

Dosen Pembimbing



Fitria Ika Arvanti, S.T., M.Eng.  
NIP. 198505112014022001

**POLITEKNIK STMI JAKARTA**  
**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I**  
**LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR**

**JUDUL PENELITIAN:**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL (PVA) SEBAGAI APLIKASI BIOMATERIAL**

**DISUSUN OLEH :**  
**NAMA :** INTAN FEBRIYANTI  
**NIM :** 1514019  
**PROGRAM STUDI :** TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Seminar Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta pada hari Kamis, 6 September 2018.

Jakarta, September 2018

Penguji I



Ir. Rochmi Widjajanti, M.Eng  
NIP. 195609101984032002

Penguji II



Syaiful Ahsan, S.T., M.T.  
NIP. 198407162014021001

Penguji III



Dr. Erfina Oktariani, S.T., M.T.  
NIP. 198210012014022001

Penguji IV



Ir. Roosmariharso, MBA  
NIP. 195405231980031004

**POLITEKNIK STMI JAKARTA**  
**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI**  
**LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR**

JUDUL PENELITIAN:

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-  
KITOSAN-POLIVINIL ALKOHOL (PVA) SEBAGAI APLIKASI  
BIOMATERIAL

DISUSUN OLEH :  
NAMA : ASSYFAH NUR LUMONGGA  
NIM : 1514022  
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia  
Polimer pada Politeknik STMI Jakarta pada hari Jum'at, 7 September 2018.

Jakarta, September 2018

Penguji I



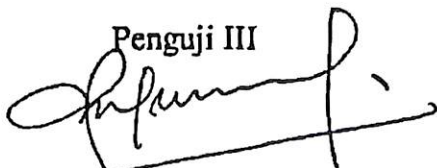
Ir. Rochmi Widjajanti, M.Eng  
NIP. 195609101984032002

Penguji II



Syaiful Ahsan, S.T., M.T.  
NIP. 198407162014021001

Penguji III



Ir. Parulian Leonard, M, M.M.  
NIP. 195702141985031002

Penguji IV



Ir. Roosmariharso, MBA  
NIP. 195405231980031004

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN

JUDUL PENELITIAN:

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-  
KITOSAN- POLIVINIL ALKOHOL (PVA) SEBAGAI APLIKASI  
BIOMATERIAL

DISUSUN OLEH :

NAMA : INTAN FEBRIYANTI

NIM : 1514019

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Jakarta, Agustus 2018

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing



Yessy Warastuti M.Si

NIP. 197903292003122002

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN

JUDUL PENELITIAN:

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-  
KITOSAN- POLIVINIL ALKOHOL (PVA) SEBAGAI APLIKASI  
BIOMATERIAL

DISUSUN OLEH :

NAMA : INTAN FEBRIYANTI

NIM : 1514019

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Jakarta, Agustus 2018

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing



Yessy Warastuti M.Si

NIP. 197903292003122002

MILIK PERPUSTAKAAN STMI  
Membaca : Ibadah, Mengambil : Dosa

## LEMBAR PENUGASAN DOSEN PEMBIMBING



### POLITEKNIK STMI JAKARTA

d.h. SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI  
Jl. Letjen Suprpto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta 10510  
Telp: (021) 42886064 Fax: (021) 42888206  
www.stmi.ac.id



Nomor : 008/SJ-IND.7.2/II/2018  
Lampiran : 1 (satu)  
Perihal : Penugasan Proses  
Bimbingan Tugas Akhir  
Tahun Akademik 2017/2018

Jakarta, 15 Februari 2018

Kepada  
Yth. Ibu Fitria Ika Aryanti, S.T., M. Eng  
Di Jakarta

Berdasarkan Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta Nomor 01/SJ-IND 7.2/ KEP/01 /2018 tanggal 03 Januari 2018 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Assisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Tahun Akademik 2017/2018, maka dengan ini kami mengharap bantuan Ibu untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Intan Febriyanti  
No. Induk : 1514019

Adapun judul Tugas Akhir yang bersangkutan berdasarkan proposal yang terdaftar adalah:

" Sintesa dan Karakterisasi Hidroksiapatit - Kitosan - PVA. "

Demikian surat penugasan ini disampaikan. Atas perhatian dan bantuan Ibu kami ucapkan terima kasih.



Direktur,

**Dr. Mustofa, ST, MT**  
NIP : 19700924 200312 1 001

**Tembusan:**

1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peringgal

## LEMBAR PENUGASAN DOSEN PEMBIMBING



### POLITEKNIK STMI JAKARTA

d.h. SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI  
Jl. Letjen Suprpto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta 10510  
Telp: ( 021 ) 42886064 Fax: ( 021 ) 42888206  
www.stmi.ac.id



Nomor : 007 /SJ-IND.7.2/II/2018  
Lampiran : 1 (satu)  
Perihal : Penugasan Proses  
Bimbingan Tugas Akhir  
Tahun Akademik 2017/2018

Jakarta, 15 Februari 2018

Kepada  
Yth. Ibu Fitria Ika Aryanti, S.T., M. Eng  
Di Jakarta

Berdasarkan Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta Nomor 01/SJ-IND 7.2/ KEP/01 /2018 tanggal 03 Januari 2018 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Assisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Tahun Akademik 2017/2018, maka dengan ini kami mengharap bantuan Ibu untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Assyfh Nur Lumongga  
No. Induk : 1514022

Adapun judul Tugas Akhir yang bersangkutan berdasarkan proposal yang terdaftar adalah:

" Sintesa dan Karakterisasi Hidroksiapatit - Kitosan - PVA. "

Demikian surat penugasan ini disampaikan. Atas perhatian dan bantuan Ibu kami ucapkan terima kasih.

Direktur,



Dr. Mustafa, ST.MT  
NIP. 19700924 200312 1 001

Tembusan:

1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Pertinggal

## LEMBAR PERMOHONAN TUGAS AKHIR



### POLITEKNIK STMI JAKARTA

d.h. SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI  
Jl. Letjen Suprpto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta 10510  
Telp: ( 021 ) 42886064 Fax: ( 021 ) 42888206  
www.stmi.ac.id



Nomor : 00/ ISJ-IND.7.2/1/2018  
Lampiran :  
Perihal : Permohonan Penelitian

Jakarta, 11 Januari 2018

Kepada  
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan  
Kepala Pusat Aplikasi Teknologi ISOTOP  
dan Radiasi ( PATIR ) Badan Tenaga Nuklir  
Nasional (BATAN)  
Jl. Lebak Bulus Raya No.49 Pasar Jum,at  
Jakarta Selatan

Dalam rangka menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang didapat Mahasiswa/i di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI, dengan ini memohon bantuan Bapak/Ibu agar bersedia menerima mereka yang namanya tersebut di bawah ini untuk melakukan Penelitian di Perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu pimpin selama kurang lebih 6 (enam) bulan.

Adapun nama mahasiswa/i yang akan melakukan Penelitian adalah:

No.	Nama	NIM	Kompetensi yang diharapkan
1.	Intan Febriyanti	1514019	Proses Produksi

Dalam pelaksanaannya kami mengharapkan bantuan bimbingan Bapak/Ibu agar mahasiswa/i kami dapat melakukannya dengan baik. Untuk selanjutnya kompetensi yang diperoleh dari hasil bimbingan Bapak/Ibu akan dipresentasikan dan mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi perusahaan

Demikian atas bantuan dan kerjasama Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.

Pembantu Direktur I,  


**Dr. Rldzky Kramanandita, S.Kom. M.T**  
NIP : 19740302 200212 1 001

**Tembusan:**

1. Direktur STMI;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peringgal

## LEMBAR PERMOHONAN TUGAS AKHIR



**POLITEKNIK STMI JAKARTA**  
d.h. SEKOLAH TINGGI MANAJEMEN INDUSTRI  
Jl. Letjen Suprapto No. 26 Cempaka Putih, Jakarta 10510  
Telp: (021) 42886064 Fax: (021) 42888206  
www.stmi.ac.id



Nomor : 002 /SJ-IND.7.2/1/2018  
Lampiran :  
Perihal : **Pemohonan Penelitian**

Jakarta, 11 Januari 2018

Kepada  
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan  
Kepala Pusat Aplikasi Teknologi ISOTOP  
dan Radiasi ( PATIR ) Badan Tenaga Nuklir  
Nasional (BATAN)  
Jl. Lebak Bulus Raya No.49 Pasar Jum,at  
Jakarta Selatan

Dalam rangka menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang didapat Mahasiswa/i di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI, dengan ini memohon bantuan Bapak/Ibu agar bersedia menerima mereka yang namanya tersebut di bawah ini untuk melakukan Penelitian di Perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu pimpin selama kurang lebih 6 (enam) bulan.

Adapun nama mahasiswa/i yang akan melakukan Penelitian adalah:

No.	Nama	NIM	Kompetensi yang diharapkan
1.	Assyfh Nur Lumongga	1514022	Proses Produksi

Dalam pelaksanaannya kami mengharapkan bantuan bimbingan Bapak/Ibu agar mahasiswa/i kami dapat melakukannya dengan baik. Untuk selanjutnya kompetensi yang diperoleh dari hasil bimbingan Bapak/Ibu akan dipresentasikan dan mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi perusahaan

Demikian atas bantuan dan kerjasama Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.

Pembantu Direktur I,



**Dr. Ridzky Kramanandita, S.Kom. M.T**  
NIP : 19740302 200212 1 001

**Tembusan:**

1. Direktur STMI;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peninggal

## LEMBAR KETERANGAN DITERIMANYA PENELITIAN



### BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI

Jalan Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia  
Telp. +62-21-769709 Fax. +62-21-7691607  
Home page: www.batan.go.id par, E-mail: par@batan.go.id

Nomor : B- 691 /BATAN/AIR 1.1/HM 03/02/2018 2 Februari 2018  
Lampiran : 1 (satu) lembar  
Hal : Penelitian Tugas Akhir

Yth. Pembantu Direktur I  
Politeknik STMI Jakarta  
Jl. Letjen Suprpto No. 26 Cempaka Putih  
Jakarta 10510

Berkenaan dengan surat Saudara Nomor : 001/SJ-IND.7.2/II/2018 dan 002/SJ-IND.7.2/II/2018 tanggal 11 Januari 2018 hal tersebut pada pokok surat, dengan ini kami beritahukan bahwa kami dapat menerima mahasiswa Politeknik STMI Jakarta untuk melaksanakan Penelitian Tugas Akhir (PTA) di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) - BATAN, atas nama :

No.	Nama/NIM	Judul Penelitian	Pembimbing
1.	Intan Febriyanti 1514019	Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit -Kitosan Polivinil Alkohol (PVA).	Yessy Warastuti, M.Si.
2.	Assyfh Nur L. 1514022	Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit - Kitosan Polivinil Alkohol (PVA).	Yessy Warastuti, M.Si.

Praktik Kerja Lapangan dilaksanakan selama 3 (tiga) bulan mulai tanggal 6 Februari sampai dengan 04 Mei 2018, dan hasil penelitian dari kegiatan tersebut sepenuhnya menjadi Hak Kekayaan Intelektual PAIR-BATAN.

Perlu diinformasikan bahwa PAIR-BATAN tidak menyediakan akomodasi dan transportasi. Terlampir kami sampaikan ketentuan bagi mahasiswa/siswa praktik, untuk disampaikan kepada yang bersangkutan.

Atas perhatian Saudara, kami ucapkan terima kasih.









Kepala,  
  
Dr Sugiharto, MT.  
NIP. 19620705 198510 1 002



**REKAMING BUKTI PENYUSUNAN TUGAS AKHIR**

Febriyanti 1514019  
 Syafah Nur Lumongga 1514022

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT  
 POLIVINIL ALKOHOL(PVA) SEBAGAI  
 Matrial**

Penyusun: Ika Aryanti, S.T., M.Eng.

Keterangan	Paraf
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembahasan latar belakang penelitian</li> <li>- Pembahasan jurnal dan topik penelitian</li> <li>- Revisi BAB I</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembahasan BAB I dan BAB II.</li> <li>- Revisi BAB I dan BAB II</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembahasan Jurnal</li> <li>- Pembahasan metode penelitian.</li> <li>- Pembahasan variasi sampel</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisi BAB III</li> <li>- Pembahasan keseluruhan BAB I, BAB II dan BAB III</li> </ul>	 
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembahasan analisis uji FTIR, uji UTM dan SEM-EDX.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembahasan Uji Tekan (UTM)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembahasan Uji tekan, <del>SEM</del> Uji SEM EDX</li> <li>- Revisi BAB IV</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembahasan seluruh BAB IV, dan BAB V, Abstrak.</li> <li>- Revisi BAB IV, BAB V dan Abstrak</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembahasan Presentasi</li> <li>- Revisi Presentasi</li> </ul>	

Dosen Pembimbing



Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng.  
NIP. 198505112014022001

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya Mahasiswa Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Intan Febriyanti  
NIM : 1514019  
Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir Penelitian yang saya buat dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-Polivinil Alkohol (PVA) sebagai Aplikasi Biomaterial”, maka:

- dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya tulis Tugas Akhir ini.
- bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu yang digunakan sebagai referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.
- bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah dinyatakan seperti yang tertulis di atas, maka karya tulis Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, September 2018



Intan Febriyanti

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya Mahasiswa Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Assyfah Nur Lumongga

NIM : 1514022

Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir Penelitian yang saya buat dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-Polivinil Alkohol (PVA) sebagai Aplikasi Biomaterial”, maka:

- dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya tulis Tugas Akhir ini.
- bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu yang digunakan sebagai referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.
- bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah dinyatakan seperti yang tertulis di atas, maka karya tulis Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, September 2018



Assyfah Nur Lumongga

## KATA PENGANTAR

kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan hidayah, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir “Sintesis dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-(PVA) sebagai Aplikasi Biomaterial” ini dapat terselesaikan. Penyusunan laporan tugas akhir ini bertujuan guna memenuhi salah satu persyaratan kelulusan dari jurusan Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.

Dalam kesempatan ini, kami ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan, bantuan, dukungan, dan dorongan semangat yang telah diberikan sehingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini. Dengan selesainya penyusunan ini, penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan ini.

2. Orang tua dan keluarga atas doa, cinta, nasehat, dan dorongan semangat yang telah diberikan, baik material maupun spiritual.

3. Bapak/Ibu [Nama], S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.

4. Bapak/Ibu [Nama], MBA., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia (TK) Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.

5. Ibu [Nama], S.T., M.Eng., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta dan selaku Dosen Pembimbing Lapangan (DPL) dan Pembimbing Ilmiah (PI) Penelitian ini.

6. Bapak/Ibu [Nama], S.T, M.T., selaku Kepala Laboratorium Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian di Laboratorium Polimer Politeknik STMI Jakarta.

7. Bapak/Ibu [Nama], M.Si., selaku Kepala Bidang Proses Radiasi, yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian di Laboratorium Bahan Industri, Proses Radiasi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Atom Nasional.

8. Ibu Yessy Warastuti, selaku pembimbing di Laboratorium Bahan Kesehatan dan Aplikasi Biomaterial, Bidang Proses Radiasi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional.
9. Ibu Afifah, selaku operator uji SEM-EDX di Pusat Laboratorium Forensik Mabes Polri.
10. Bapak Jan Setiawan, yang telah membantu dalam uji kuat tekan di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN).
11. Teman-teman Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta angkatan 2014 selaku kawan seperjuangan.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah memberi dukungan dan bantuan atas Tugas Akhir Penelitian ini.

Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dalam mengkaji kaidah ilmu pengetahuan Teknik Kimia Polimer (TKP). Penyusun menyadari keterbatasan dan kemampuan dalam menyusun laporan ini. Oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga berguna bagi penyusun untuk menyempurnakan laporan tugas akhir penelitian ini.

Jakarta, September 2018

Penyusun



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS AKHIR .....	iv
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR .....	vi
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING PENELITIAN .....	viii
LEMBAR PENUGASAN DOSEN PEMBIMBING.....	x
LEMBAR PERMOHONAN TUGAS AKHIR .....	xii
LEMBAR KETERANGAN DITERIMANYA PENELITIAN.....	xiv
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR .....	xv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN .....	xvii
KATA PENGANTAR.....	xix
ABSTRAK .....	xxi
DAFTAR ISI .....	xxii
DAFTAR TABEL .....	xxv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Komposit biomaterial.....	4
2.2 Hidroksiapatit (HAp).....	5
2.2.1 Sintesis hidroksiapatit.....	6
2.2.2 Sifat Kimia Hidroksiapatit.....	9
2.2.3 Sifat Fisika Hidroksiapatit.....	9
2.2.4 Sifat Mekanik Hidroksiapatit.....	10
2.3 Kitosan .....	11

2.4 Polivinil Alkohol (PVA).....	13
2.5 Iradiasi Sinar Gamma Biomaterial.....	14
2.6 Analisa Sifat Kimia.....	15
2.7 Analisis Sifat Fisika.....	16
2.8 Analisis Sifat Mekanik.....	16
BAB III METODE PENELITIAN .....	18
3.1. Waktu dan Pelaksanaan.....	18
3.2. Alat dan Bahan.....	18
3.2.1. Alat.....	18
3.2.2. Bahan.....	19
3.3. Variabel Penelitian.....	19
3.3.1. Variabel tetap .....	19
3.3.2. Variabel bebas.....	19
3.4. Pembuatan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-Polivinil Alkohol (PVA).....	20
3.4.1 Preparasi tulang sapi .....	22
3.4.2 Penghilangan Lemak.....	22
3.4.3 Penghancuran Tulang dengan Metode Alkalin Hidrotemal ..	22
3.4.4 Pembuatan larutan kitosan dan PVA.....	23
3.4.5 Sintesis komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA .....	23
3.4.6 Penetralan .....	24
3.4.7 Pembuatan Sampel.....	24
3.4.8 Sterilisasi dengan Iradiasi Sinar Gamma .....	24
3.5. Karakterisasi Sampel.....	24
3.5.1. Analisa Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA dengan FTIR .....	24
3.5.2. Analisa Kuat Tekan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA dengan UTM.....	24
3.5.3. Analisa komposit Hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan SEM- EDX .....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	26

4.1. Analisa Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA dengan FTIR .....	26
4.2. Analisa Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA SEM-EDX .....	30
4.3. Analisa Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA dengan UTM.....	37
4.4.1 Analisa Sifat Mekanik Komposit pada Variasi Massa Tulang Sapi.....	38
4.4.2 Analisa Sifat Mekanik Komposit pada variasi PVA.....	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	42
5.1 Kesimpulan .....	42
5.2 Saran .....	42
DAFTAR PUSTAKA .....	43

MILIK PERPUSTAKAAN STMI  
Membaca : Ibadah. Mengambil : Dosa

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Identifikasi Spektrum FTIR pada Hidroksiapatit, Kitosan, PVA dan Sampel A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; Polivinil Alkohol (PVA) 3%) .....	27
Tabel 4.2 Hasil Identifikasi Spektrum FTIR Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA pada Sampel A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) Variasi Dosis Radiasi.....	29
Tabel 4.3 Diameter Pori Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA pada Sampel A2 (hidroksiapatit 30g; kitosan 2%; PVA 1%) pada Perbesaran 2.500× .....	31
Tabel 4.4 Diameter Pori Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A3 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) pada Perbesaran 2.500× .....	32
Tabel 4.5 Diameter Pori pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA pada Sampel A4 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 5%) pada Perbesaran 100×.....	33
Tabel 4.6 Komposisi pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A2 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) .....	34
Tabel 4.7 Komposisi pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A3 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) .....	35
Tabel 4.8 Komposisi pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A4 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 5%) .....	36
Tabel 4.9 Hasil Karakterisasi Uji Kuat Tekan dan Modulus Young Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA .....	37

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur kimia senyawa Hidroksiapatit.....	6
Gambar 2.2 Prosedur ekstraksi hidroksiapatit dari tulang sapi .....	8
Gambar 2.3 Spektrum FTIR Hidroksiapatit dari Tiga Metode Berbeda .....	9
Gambar 2.4 Hasil Analisa SEM Metode Alkalin Hidrotermal (A) dan Dekomposisi termal (B). Sumber: Barakat, 2008.....	10
Gambar 2.5 Hasil Kuat Tekan Hidroksiapatit-Kitosan sebagai Filler .....	10
Gambar 2.6 Proses Pembuatan Kitosan dari Kulit Udang.....	11
Gambar 2.7 Struktur Kimia Kitosan.....	12
Gambar 2.8 Struktur Kimia Poli-Vinil Alkohol (PVA).....	13
Gambar 2.9 Alat Radiasi.....	14
Gambar 2.10 Komponen Dasar pada FTIR .....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-Polivinil alkohol (PVA) .....	21
Gambar 4.1 Spektrum FTIR Hidroksiapatit, Kitosan, PVA dan A3 .....	26
Gambar 4.2. Spektrum FTIR Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA pada sampel A3 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) Variasi Dosis Radiasi .....	28
Gambar 4.3 Hasil Uji SEM Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA pada Sampel A2 (hidroksiapatit 30g; kitosan 2%; PVA 1%) dengan Perbesaran 2.500x .....	30
Gambar 4.4 Hasil uji SEM komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA pada sampel A3 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%).....	31
Gambar 4.5 Hasil Uji SEM Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA pada Sampel A4 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 5%).....	32
Gambar 4.6 Spektrum EDX Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A2 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) .....	34
Gambar 4.7 Spektrum EDX pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A3 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%).....	35

Gambar 4.9 Perbandingan Kuat Tekan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Variasi Berat Tulang Berdasarkan Radiasi.....	38
Gambar 4.10 Perbandingan Nilai Modulus Young Komposit Hidroksiapatit- Kitosan-PVA Variasi Berat Tulang Sapi Berdasarkan Radiasi .....	39
Gambar 4.11 Perbandingan Kuat Tekan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Variasi PVA Berdasarkan Radiasi.....	40

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A.....	46
LAMPIRAN B.....	49
LAMPIRAN C.....	50
LAMPIRAN D.....	53

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Ilmu pengetahuan terus mengalami perkembangan dari berbagai perpaduan ilmu-ilmu yang sudah ada. Seperti saat ini dikembangkan perpaduan ilmu kedokteran dengan ilmu teknik sebagai salah satunya pada bidang medis. Penggunaan material asing di dalam tubuh manusia bukan hal baru, material tersebut berguna untuk membantu menjalankan beberapa fungsi tertentu organ tubuh. Material ini didesain khusus untuk berinteraksi dan berintegrasi dengan sistem biologi manusia. Biomaterial yang baik untuk tubuh harus bioaktif, biokompatibel dan osteokonduktif tidak bersifat racun bagi tubuh (Zhang Li dkk, 2005). Pengaplikasian biomaterial pada manusia salah satunya sebagai pengganti tulang dan gigi yang rusak. Seiring bertambahnya usia, tulang dan gigi akan keropos dan retak, serta tulang dapat patah ketika menerima beban lebih yang tidak sanggup diterimanya. Tulang dan gigi yang telah rusak akan menyebabkan penurunan aktivitas terhadap kegiatan sehari-hari.

Pada penelitian ini dilakukan pemanfaatan limbah tulang. Tulang merupakan komponen yang keras, hal inilah yang menyebabkan tulang tidak mudah diuraikan oleh dekomposer, sehingga tulang tersebut menjadi limbah padat. Limbah tulang sapi masih belum banyak dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia. Menurut Barakat dkk (2008) tulang sapi merupakan salah satu sumber dari material hidroksiapatit dengan nilai sebesar 65-70% berat hidroksiapatit terdapat pada tulang sapi. Pengaplikasian hidroksiapatit sebagai bahan pengisi tulang atau implan tulang bersifat rapuh dan dapat mengalami kepatahan diantaranya pada tulang kering dan tulang betis sebagai penopang tubuh ketika seorang berdiri. Menurut Istifarah (2012) untuk itu harus ditambahkan material modifikasi seperti polimer sebagai bahan pengisi yang memiliki sifat kuat tekan yang baik, dapat diserap tubuh, biokompatibel, tidak beracun dan osteokonduktif sehingga dapat mempercepat pembentukan mineral tulang. Kitosan merupakan salah satu polimer

alami terbanyak setelah selulosa yang memiliki sifat osteokonduktif yang dapat mempercepat pembentukan mineral tulang. Kitosan bersumber dari cangkang kepiting, kulit udang, jamur, cumi dan ulat sutera. Selain pemanfaatan kitosan sebagai salah satu mengurangi limbah cangkang kepiting dan udang. Namun menurut Yessy dkk (2015) kitosan memiliki kekurangan pada sifat mekanik yaitu kurang fleksibel dan rapuh pada kondisi basa. Pada penelitian Ramona dkk, (2014) melakukan pencampuran polimer alam dan polimer sintetik. Pencampuran Kitosan dan Polivinil Alkohol (PVA) dengan metode pelarut meningkatkan kekuatan mekanik, fleksibilitas, *bulk* dan hidrofilitas permukaan. Untuk itu dibuat material komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) diaplikasikan sebagai implan tulang dan gigi, perlu adanya metode sterilisasi agar aman dan material tidak rusak. Salah satunya metode iradiasi gamma berintensitas tinggi yang dapat membunuh organisme berbahaya tanpa mempengaruhi komposisi komposit. Menurut Hudhori dan Rudianto (2017) semakin tinggi dosis radiasi sifat kekuatan tekan semakin tidak stabil, bisa menurun atau meningkat. Sesuai dosis untuk bidang kesehatan digunakan dosis radiasi 15 kGy dan 25 kGy.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah untuk penelitian ini adalah :

1. bagaimana pengaruh massa tulang sapi dan konsentrasi polivinil alkohol (PVA) terhadap sifat kimia, fisika dan mekanik komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA)?
2. bagaimana pengaruh dosis iradiasi sinar gamma terhadap sifat kimia dan sifat mekanik komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) ?

### 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah :

1. Hidroksiapatit disintesis dari tulang sapi dengan metode alkalin hidrotermal pada suhu  $220^{\circ}\text{C}$  menggunakan pelarut NaOH selama  $2 \times 15$  menit.
2. Proses karakterisasi dilakukan dengan variabel yang divariasikan adalah penambahan tulang sapi variasi massa 30 gram dan 10 gram serta variasi konsentrasi polivinil alkohol (PVA) 1%, 3% dan 5%.

3. Karakterisasi komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) dengan melakukan pengujian porositas permukaan komposit dan pengujian kekuatan mekanik serta melakukan pengujian untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada komposit.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk :

1. mengetahui pengaruh massa tulang sapi dan konsentrasi polivinil alkohol (PVA) terhadap sifat kimia, fisika dan mekanik komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA)
2. mengetahui pengaruh dosis iradiasi sinar gamma terhadap sifat kimia dan sifat mekanik komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA)

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. penelitian ini memberikan informasi tambahan dasar teori tentang sifat kimia, fisika dan mekanik dari komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA).
2. penelitian ini membuat kandidat komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) ke arah aplikasi biomaterial.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Komposit biomaterial

Material komposit adalah sistem multifase yang terdiri dari bahan matriks dan bahan penguat. Bahan matriks adalah sebagai fase kontinyu biasanya memiliki sifat ulet namun kurang keras, yang termasuk bahan matriks yaitu metal matriks komposit, bahan komposit matriks non-logam anorganik dan polimer matriks komposit dengan berbeda bahan matriksnya. Sedangkan bahan penguat adalah fase terdispersi sifatnya lebih keras dari bahan matriks, biasanya bahannya berserat seperti *glass fiber*, *organic fiber* dan lainnya. Secara ringkas, bahan komposit adalah kombinasi dari dua atau lebih bahan komponen dengan sifat dan bentuk yang berbeda melalui proses penggabungan, tidak hanya mempertahankan karakteristik utama dari komponen aslinya namun, menampilkan karakteristik baru yang tidak dimiliki komponen aslinya (Wang, 2011)

Penggabungan bahan alami dan sintetik diterapkan sebagai aplikasi biomaterial. Salah satunya biomaterial hidroksiapatit yang sering diterapkan untuk dunia medis sebagai pengganti tulang dan gigi karena memiliki sifat kompatibilitas yang baik dan osteokonduktif yang dapat menginduksi stem sel menjadi sel-sel ditulang dewasa. Komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) adalah gabungan dari 3 bahan yang berbeda sifatnya yang diciptakan untuk dijadikan material baru yang bernilai ekonomis dan bermanfaat terutama dalam bidang biomedis yaitu implan tulang dalam aplikasi teknik jaringan tulang. Dalam komposit ini hidroksiapatit yaitu sebagai matriks dan memiliki sifat rapuh, hidroksiapatit dihasilkan dari tulang hewan yaitu tulang sapi karena memiliki sifat yang hampir mirip dengan tulang manusia sehingga, digunakan tulang sapi sebagai sumber dari hidroksiapatit (Betancur, 2013). Karena memiliki sifat yang rapuh, maka ditambahkan penguat yaitu kitosan, kitosan diperoleh dari deasetilasi kitin yang bersumber dari kulit udang. Dimanfaatkannya limbah tulang sapi dan kulit udang agar estetika lingkungan

terjaga dan tidak menimbulkan bau dilingkungan serta memanfaatkan limbah untuk kebutuhan yang bernilai ekonomis.

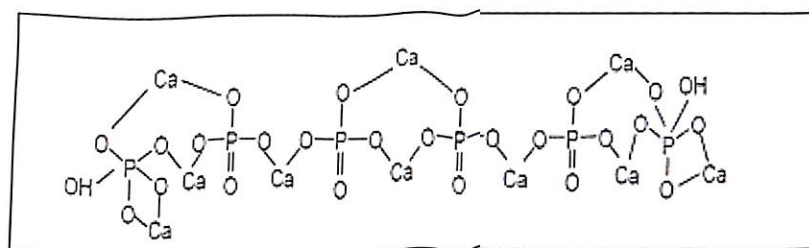
Pada penelitian yang dilakukan oleh Pramanik dkk (2003) yaitu mensintesis nanokomposit hidroksiapatit-kitosan dengan cara pelarutan sederhana berdasarkan metode kimia, dilakukan variasi hidroksiapatit dari 10% sampai 60%. Hasilnya seiring bertambahnya jumlah hidroksiapatit maka sifat mekanik dari komposit hidroksiapatit-kitosan pun meningkat. Pemberian PVA pada komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik pada *scaffold* karena sifat uniknya yaitu adesif (kelengketan) dan diharapkan komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA bersifat lentur atau *flexible* tidak mudah rapuh. Penelitian sebelumnya yang dilakukan Yessy dkk (2014) yaitu sintesis dan karakterisasi membran komposit hidroksiapatit dari tulang sapi-kitosan-polivinil alkohol untuk aplikasi biomaterial, dengan mengekstrak hidroksiapatit dengan metode alkalin hidrotermal menggunakan NaOH dan membuat membran komposit dengan metode *film casting* dan penguapan pelarut. Diharapkan bertambahnya konsentrasi hidroksiapatit maka menyebabkan berkurangnya nilai kekuatan tarik dan perpanjangan putus pada membran.

## 2.2 Hidroksiapatit (HAp)

Hidroksiapatit (HAp) dengan rumus kimia  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  merupakan komponen utama dari matriks anorganik yang terdapat pada tulang. Tulang merupakan jaringan hidup, yang mana terdiri dari fase organik (20-30% wt) dan fase anorganik (60-70% wt) dan sekitar 5% berat air. Matriks organik terutama terdiri dari kolagen, namun ada komponen lain dalam konsentrasi kecil yaitu lipid dan protein-non kolagen. Fase organik memiliki sifat elastisitas, fleksibilitas dan ketahanan pada tulang. Ada ion lain seperti magnesium, fluorida dan sodium yang membentuk matriks anorganik dan memberikan kekerasan serta kekakuan pada tulang. Pemahaman kedua komponen pada tulang sangat penting untuk aplikasi biomedis antara lain seperti prostesis dan penggantian tulang parsial. Namun, komponen utama dari matriks anorganik (HAp) mendapat perhatian karena memiliki sifat seperti, biokompatibilitasnya yang sangat baik, bioaktivitas,

berperilaku *non*-inflamasi, *non*-imunogenisitas, osteokonduktif yang tinggi, tidak beracun dan mudah dalam proses (Betancur, 2013).

Berdasarkan sifat yang dimiliki HAp banyak digunakan dalam aplikasi gigi dan operasi jaringan keras karena kemampuannya mengikat jaringan tulang. Namun, HAp memiliki sifat mekanik yang rendah yang mana sangat penting untuk menahan beban yang besar. Maka, perlu ditambahkan keramik, polimer dan gelas bioaktiv untuk meningkatkan sifat mekanik dengan cara komposit (Betancur, 2013). Gambar 2.1 menunjukkan senyawa hidroksiapatit.



**Gambar 2.1** Struktur kimia senyawa Hidroksiapatit  
Sumber: Yessy, 2015

### 2.2.1 Sintesis hidroksiapatit

HAp dapat ditemukan di alam dan sintesis (Betancur, 2013). HAp sintesis tidak memiliki sifat biologis yang sama dengan tulang alami, untuk itu perlu substitusi ion lain. Gabungan substitusi sering terjadi dimana salah satu ion diganti dengan ion lain dengan muatan yang sama tapi berbeda pengisinya. Dalam hal ini, substitusi karbonat sangat penting bagian mineral pada tulang, dentin dan enamel terutama terdiri dari hidroksiapatit berkarbonasi (CHAp). Ekstraksi HAp dari limbah biologis merupakan paling aman karena tidak ada bahan kimia asing dan bernilai ekonomi. Limbah biologis yang banyak dimanfaatkan tersebut yaitu, tulang ikan, tulang sapi, tulang dan gigi babi (Barakat, 2008).

Ada beberapa metode untuk mensintesis hidroksiapatit alami dan sintetik, diantaranya untuk HAp sintetik yaitu, hidrotermal, mechano-kimia, iradiasi *microwave*, *precipitation*, sol-gel, hidrolisis, dan metode mikro-emulsi. Untuk HAp alami yaitu, kalsinasi, kimia dan *thermal treatment* yang digunakan untuk menghilangkan bahan organik dalam mencegah infeksi, penyakit menular dan

reaksi defensif imunologi. Dalam hal ini kebanyakan untuk aplikasi medis digunakan tulang sapi (Betancur, 2013).

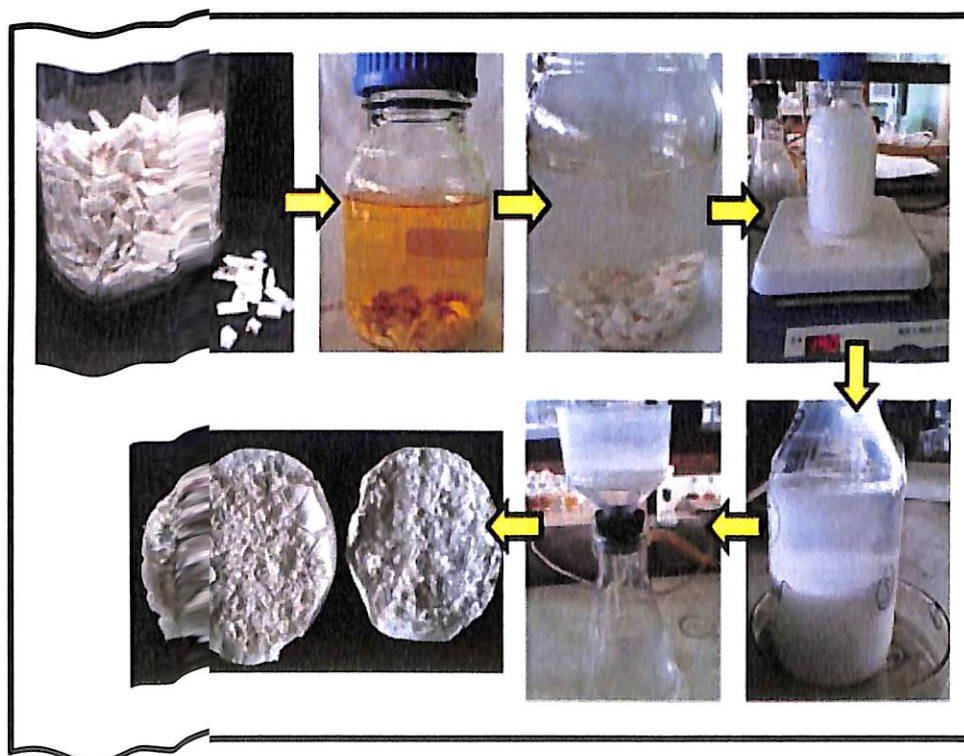
Barakat (2008) melakukan penelitian dengan menggunakan 3 metode pembuatan hidroksiapatit, diantaranya:

1. *Subcritical Water Process*
2. Hidrolisis Alkalin Hidroterma
3. Dekomposisi Termal

Perbandingan tiga metode sintesis hidroksiapatit tulang sapi yaitu pada proses subkritis, digunakan air deionisasi yang dicampur pada tulang yang telah digiling. Campuran ditempatkan pada cawan teflon, dialiri gas nitrogen untuk menghilangkan oksigen terlarut, lalu dilakukan perebusan tulang sapi di dalam *autoclave* pada suhu 275°C selama 1 jam. Serbuk yang diperoleh disaring, dicuci dan dikeringkan pada suhu 80°C selama 30 menit. Proses hidrolisis alkalin hidrotermal menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) 25% berat dengan perbandingan 1:40. Campuran diletakkan dalam cawan baja, lalu dilakukan perebusan kembali didalam *autoclave* pada suhu 250°C selama 5 jam. Serbuk hidroksiapatit kemudian dicuci dan dikeringkan. Metode dekomposisi termal menggunakan teknik sintering. Tepung tulang sapi ditempatkan dalam cawan alumina kemudian dipanaskan dalam tungku pada suhu 750°C selama 6 jam. Dari ketiga metode ini diperoleh rata-rata hasil hidroksiapatit yang terbentuk sekitar 65% (Barakat dkk, 2009).

Pada penelitian (Yessy, 2014) dilakukan modifikasi ekstraksi hidroksiapatit dengan metode alkalin hidrotermal untuk menghilangkan cairan di dalam tulang, sumsum tulang dan sisa-sisa jaringan lunak, dilakukan proses perebusan dalam *autoclave* pada suhu 121°C selama 30 menit dengan akuades. Setelah proses *autoclave*, terdapat lapisan cairan berwarna kuning seperti minyak pada permukaan atas air yang diasumsikan sebagai lemak. Jaringan lunak banyak yang mulai terlepas dari tulang. Kemudian dilakukan proses penggantian air dan proses perebusan diulang kembali hingga air rebusan menjadi jernih. Setelah itu potongan tulang dicuci bersih dan dikeringkan. Proses selanjutnya adalah ekstraksi hidroksiapatit menggunakan larutan alkalin (NaOH) pada suhu tinggi.

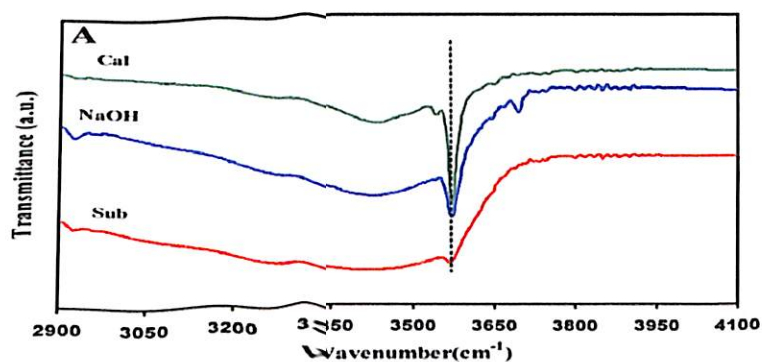
Sebanyak 20 gram tulang sapi ditambah dengan 300 ml larutan NaOH 10%, kemudian di *autoclave* pada suhu 121°C selama 30 menit. Setelah proses *autoclave*, warna larutan NaOH yang semula jernih berubah menjadi kuning tua jernih. Proses tersebut diulang sebanyak dua kali. Warna kuning semakin memudar setelah proses *autoclave* yang kedua. Kemudian dilakukan proses sonikasi untuk membantu proses penghancuran tulang. Setelah itu, ditambahkan 400 ml NaOH 20% dan dilakukan proses pengadukan dengan pengaduk magnet pada suhu 100°C selama 5 jam. Tulang hancur sempurna dan terbentuk suspensi berwarna putih terang. Kemudian dilakukan proses penyaringan dan pencucian sampai bebas NaOH pada endapan hidroksiapatit yang terbentuk. Selanjutnya dilakukan pengeringan endapan hidroksiapatit dalam oven pada suhu 60°C. Optimasi prosedur dengan teknik pengulangan ekstraksi sebanyak 8 kali, diperoleh persentase ekstrak hidroksiapatit sebesar  $68,809 \pm 0,461$ . Berikut gambar 2.2 Prosedur ekstraksi hidroksiapatit dari tulang sapi.



Gambar 2.2 Prosedur ekstraksi hidroksiapatit dari tulang sapi  
Sumber: Yessy, 2015

### 2.2.2 Sifat Kimia Hidroksiapatit

Untuk dapat mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada hidroksiapatit dilakukan dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Pada penelitian yang dilakukan oleh Barakat (2008) menghasilkan perbandingan hasil FTIR berbeda dari ketiga metode yaitu *Subcritical Water Process*, Hidrolisis Alkalin Hidrotermal dan Dekomposisi Termal yang disajikan pada gambar 2.3 berikut.

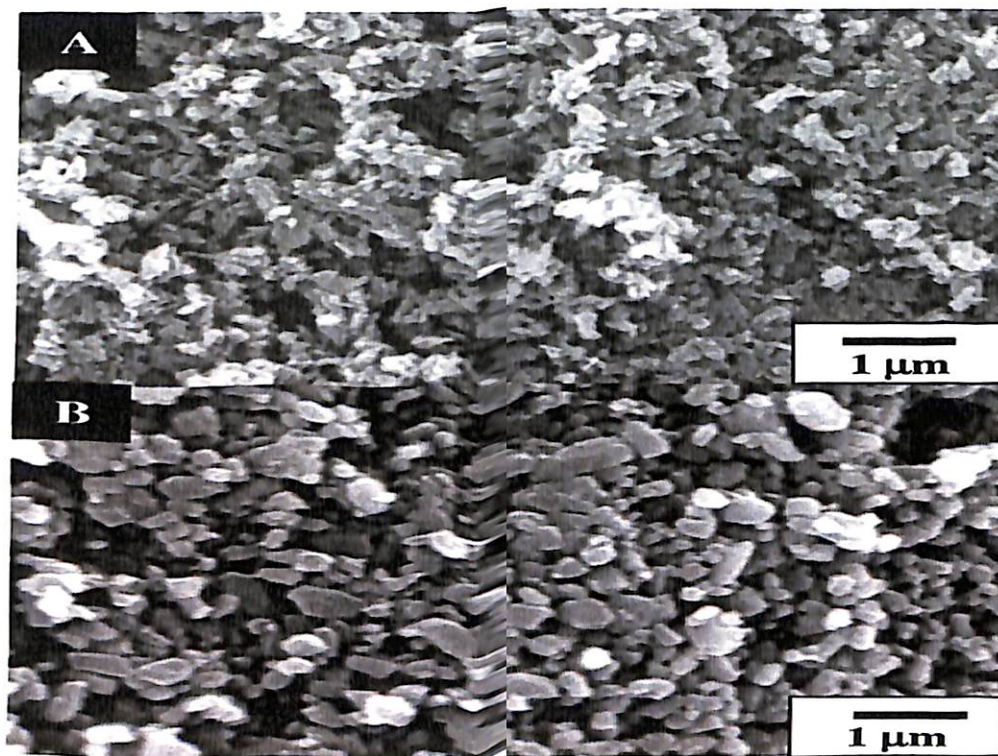


**Gambar 2.3** Spektrum FTIR Hidroksiapatit dari Tiga Metode Berbeda  
Sumber: Barakat, 2008

Pada gambar 2.3 dapat dilihat bahwa intensitas peregangan OH paling kecil pada metode *Subcritical Water Process* (Sub), sementara metode alkalin hidrotermal (NaOH) berada satu di atasnya dan yang paling tinggi pada metode dekomposisi termal (Cal). Walaupun berbeda, namun puncak peregangan OH pada ketiga metode tersebut berada pada bilangan gelombang yang sama (Barakat, 2008).

### 2.2.3 Sifat Fisika Hidroksiapatit

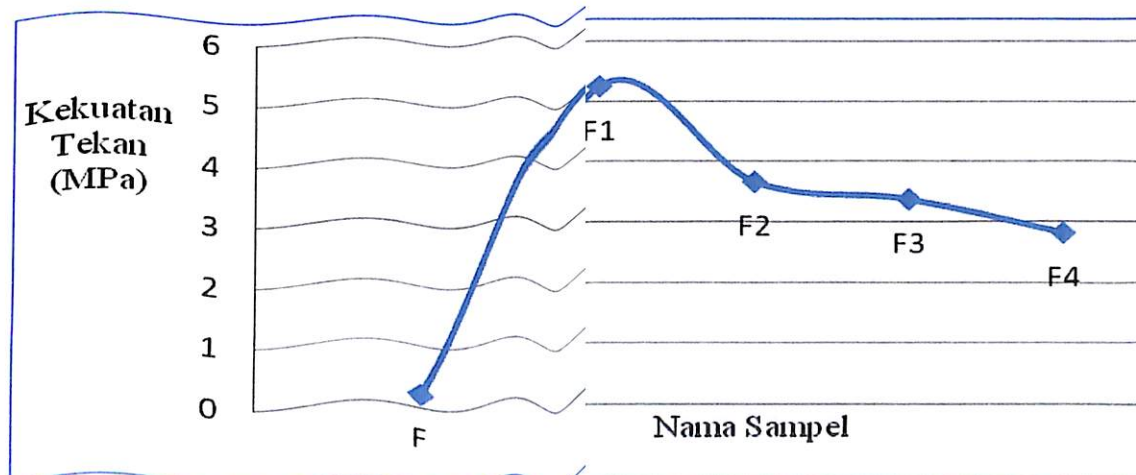
Pengujian fisika HAp dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yaitu untuk mengetahui morfologi yang terdapat pada hidroksiapatit. Berikut hasil SEM pada penelitian yang dilakukan Barakat (2008) untuk metode alkalin hidrotermal dan dekomposisi termal. Pada gambar 2.4 dapat dilihat bahwa hidroksiapatit yang disintesis dengan metode dekomposisi termal ukuran apatitnya besar, dapat dianggap karena kecenderungan butir HAp untuk menggumpal pada suhu tinggi. Berbeda dengan metode alkalin hidrotermal yang lebih kecil dan terlihat berbentuk nanorod (Barakat, 2008)



Gambar 2.4 Hasil Analisa SEM Metode Alkalin Hidrotermal (A) dan Dekomposisi termal (B). Sumber: Barakat, 2008

#### 2.2.4 Sifat Mekanik Hidroksiapatit

Sifat mekanik tentunya harus dilakukan agar aplikasi medis tercapai, pada penelitian yang dilakukan Istifarah (2012) hidroksiapatit memiliki kuat tekan yang rendah sehingga harus ditambahkan pengisi/filler untuk menjadi sebuah komposit. Berikut grafik 2.5 merupakan hasil kuat tekan sampel dengan variasi kitosan hasil penelitian Istifarah (2012).

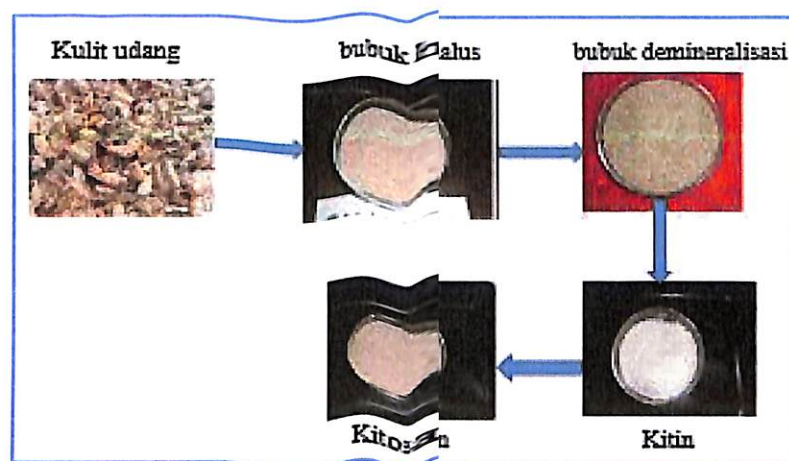


Gambar 2.5 Hasil Kuat Tekan Hidroksiapatit-Kitosan sebagai Filler Sumber: Istifarah, 2012

Pada gambar 2.5 Dapat dilihat pada sampel F adalah sampel hidroksiapatit murni yang tidak ditambahkan pengisi/filler. Pada grafik tersebut terlihat bahwa hidroksiapatit memiliki kuat tekan rendah sehingga, perlu adanya bahan pengisi/filler untuk meningkatkan sifat mekanik pada hidroksiapatit.

### 2.3 Kitosan

Kitosan dengan rumus kimia  $C_6H_{11}NO_4$  merupakan hasil dari deasetilasi kitin dan merupakan sebuah kopolimer. Kitin merupakan biopolimer yang melimpah terdapat di alam kedua setelah selulosa. Biopolimer adalah sesuatu yang berasal dari makhluk hidup yang dibuat dari menggabungkan banyak molekul. Kitin berasal dari makhluk hidup diantaranya kulit udang, serangga dan dinding sel organisme (Pokhrel, 2015). Proses deasetilasi kitin menjadi kitosan dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Proses Pembuatan Kitosan dari Kulit Udang  
Sumber: Pokhrel, 2015

Berikut langkah-langkah pembuatan kitosan dari kulit udang:

1. demineralisasi: dilakukan dengan melibatkan asam (biasanya dengan HCl) untuk menghilangkan unsur-unsur organik (terutama kalsium karbonat)
2. deproteinisasi: mengekstraksi zat protein dalam basa (biasanya dengan NaOH)
3. *decolourization*: melakukan pemutihan produk oleh reagen kimia agar produk tidak berwarna (Pokhrel, 2015).

Kitin dan kitosan adalah polimer terbarukan yang memiliki sifat yang sangat baik diantaranya, *biodegradability*, *biocompatibility* dan tidak beracun. Sama seperti selulosa, kitin dan kitosan dapat mengalami banyak reaksi seperti,

esterifikasi dan *crosslinking* (Pokhrel, 2015). Namun, kitosan memiliki sifat lebih fleksibel dibanding dengan selulosa karena adanya gugus  $\text{NH}_2$  (Dutta, 2004). Parameter penting yang mempengaruhi karakteristik kitosan adalah berat molekul dan derajat deasetilasi.

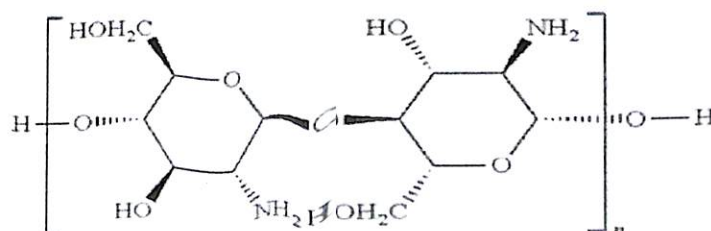
Menurut Dutta (2004) Kitosan memiliki sifat kimia yang cocok untuk aplikasi biomedis, yaitu:

1. kitosan adalah poliamina linear
2. memiliki gugus amino reaktif ( $-\text{NH}_2$ )
3. bereaksi dengan gugus hidroksil ( $-\text{OH}$ )

Dan memiliki sifat biologi diantaranya:

1. biokompatibel:
  - a. polimer alami
  - b. aman dan tidak beracun
  - c. *biodegradable*
2. berikatan dengan sel mamalia dan mikroba secara agresif
3. regeneratif pada jaringan ikat gusi
4. mempercepat pembentukan osteoblas yang berfungsi untuk pembentukan tulang
5. anti tumor dan anti kanker

Kekurangan yang dimiliki kitin yaitu kelarutan yang kurang baik menyebabkan kitin kurang diaplikasikan. Hal spesial dari kitosan adalah untuk perbaikan kartilago artikular. *Scaffold* komposit kitosan/kalsium fosfat telah disintesis dan dikarakterisasi untuk rekayasa jaringan. Kitosan dan kalsium fosfat mendorong osteoblas dan memperkuat *scaffold* (Pokhrel, 2015). Berikut struktur kimia pada kitosan.

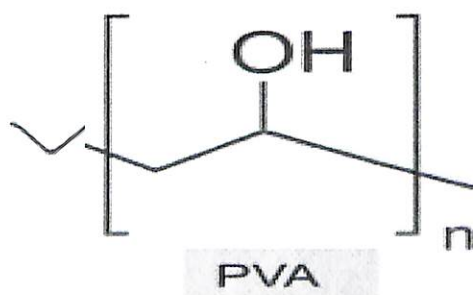


Gambar 2.7 Struktur Kimia Kitosan  
Sumber : Yessy, 2015

#### 2.4 Polivinil Alkohol (PVA)

Polivinil alkohol (PVA) pertama kali disintesis oleh Hermann dan Haehnel pada tahun 1924 dengan cara saponifikasi (penyabunan) poli(vinil ester) dalam larutan NaOH. Karena vinil alkohol tidak stabil, maka PVA diproduksi secara komersial melalui hidrolisis poli(vinil asetat). PVA dibuat dari polimerisasi vinil asetat dan hidrolisisnya bersifat ataktik, sedangkan PVA sindiotaktik dapat dibuat dengan polimerisasi radikal dari format vinil, vinil pivalat dan vinil trifluoroasetat. PVA isotaktik dapat dibuat dengan polimerisasi kationik dari benzil vinil eter. Polimer PVA tidak berwarna dan bau, leleh pada temperatur 180-228°C. Karena tingkat hidrolisis vinil asetat ke vinil alkohol meningkat, struktur polimer menjadi lebih mengkrystal, maka gaya antar molekul meningkat, temperatur leleh dan temperatur tansisi gelas serta meningkatkan kelarutan dalam air. Karena kristalisasi, maka struktur PVA sangat stabil dan inert secara kimia. Sehingga PVA umumnya dianggap aman dan biokompatibel (Muppalaneni, 2013).

PVA memiliki struktur yang sederhana dan sifat yang unik seperti adhesif, kuat, mudah membentuk film, biokompatibel, aman dan tidak beracun, PVA dapat diaplikasikan dalam berbagai industri diantaranya, tekstil, kertas, adhesif, makanan dan biomedis. PVA telah dipelajari untuk kartilago artikuler dan morfologi mikro menggunakan alat DSC (*Differential Scanning Calorimetry*), sifat mekaniknya pun telah dievaluasi. Hidrogel PVA yang ditanam di tulang, sinovium dan otot semuanya bersifat biokompatibilitas dengan jaringan tubuh yang dipelajari secara histologis (Muppalaneni, 2013).



Gambar 2.8 Struktur Kimia Poli-Vinil Alkohol (PVA)  
Sumber: Yessy, 2015

## 2.5 Iradiasi Sinar Gamma Biomaterial

Iradiasi sinar gamma merupakan salah satu metode untuk sterilisasi yang digunakan sebelum biomaterial komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) digunakan didalam tubuh. Kelebihan sterilisasi menggunakan radiasi sinar gamma tidak merubah gugus fungsi, tidak meninggalkan residu, efektif membunuh mikroorganisme dengan batas tertentu. (Rekso, 2015)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Bano dkk (2014) radiasi dapat mempengaruhi sifat material. Bahan polimer mewakili berbagai kelompok bahan dari alat kesehatan dan implan tulang yang terbuat dari logam, keramik dan polimer. Polimer menunjukkan perubahan yang berbeda pada sifat fisik akibat radiasi pada struktur kimia polimer. Terjadinya ikatan silang, pemutusan rantai, atau tidak berpengaruh pada beberapa polimer yang disebabkan oleh radiasi pada polimer. Ikatan silang terjadi melalui ikatan rangkap atau melalui abstraksi hidrogen dari polimer jenuh seperti polietilena. Hasil pemutusan rantai dapat menyebabkan berat molekul polimer berubah, polimer menjadi rapuh yang ditandai dengan menurunnya nilai kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Berikut merupakan salah satu alat radiasi ditunjukkan pada gambar 2.9.

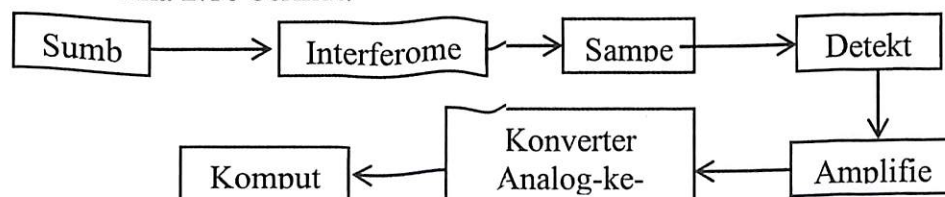


Gambar 2.9 Alat Radiasi

## 2.6 Analisa Sifat Kimia

Untuk menganalisa sifat kimia pada suatu material salah satunya digunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Ilmu yang mempelajari hubungan antara radiasi elektromagnetik dan materi adalah spektroskopi. Spektroskopi inframerah adalah metode spektroskopi yang umum digunakan karena metode ini cepat, peka, mudah ditangani dan dapat digunakan pada berbagai sampel seperti, gas, cairan dan padatan. Dan yang paling penting adalah dapat menganalisis secara kualitatif dan kuantitatif dari spektrumnya. Format standar pada spektrum IR adalah transmitansi (%T) dan bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ). Menurut IUPAC, nilai-nilai dari sumbu bilangan gelombang menurun jika ke arah ujung kanannya. Spektrum IR secara langsung berkaitan dengan struktur molekul suatu senyawa. Spektrum IR juga ciri fisik yang unik dari sebuah senyawa karena sidik jari molekulnya (Gauglitz, 2003)

Secara tradisional, instrumen dispersif digunakan sejak 1940 untuk mendapatkan spektrum inframerah. Dalam dekade terakhir, instrumen dispersif dalam memperoleh spektrum inframerah telah digantikan oleh metode lain yang sangat berbeda yaitu dengan metode *Fourier Transform Infrared* (FTIR). FTIR didasarkan pada interferensi radiasi antara dua pancaran untuk menghasilkan *interferogram*. Kemudian, sinyal yang dihasilkan sebagai fungsi dari perubahan jalur antara dua pancaran. Dua jarak dan frekuensi adalah interkonversi oleh metode matematika dari *Fourier-transformation*. Radiasi yang muncul dari sumber dilewatkan melalui interferometer lalu ke sampel sebelum sampai ke detektor. Setelah amplifikasi sinyal, dimana frekuensi yang tinggi telah dihilangkan oleh filter, data dikonversi ke bentuk digital oleh konverter analog-ke-digital dan ditransfer ke komputer untuk *Fourier-Transformation* (Stuart, 2004). Dapat dilihat pada skema 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Komponen Dasar pada FTIR  
Sumber: Stuart, 2004

## 2.7 Analisis Sifat Fisika

Analisis sifat fisika digunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yaitu untuk menganalisis suatu permukaan dari bahan organik dan anorganik. Sampel yang dianalisa diradiasi dengan pancaran elektron, dimana pancaran elektron tersebut diam atau bergerak berlawanan dengan permukaan sampel. Sinyal dihasilkan ketika pancaran berinteraksi dengan permukaan spesimen termasuk *Secondary Electron* (SE), *Back Scattered Electron* (BSE), elektron Auger, *X-rays* dan foton dari energi yang berbeda. Ketika ditambahkan *Energy Dispersive X-ray* (EDX) dapat dihasilkan komposisi yang terkandung dalam sampel bersamaan dengan topografi yang dihasilkan (Ellingham, 2017).

Interaksi pancaran elektron dengan hasil sampel pada emisi *X-rays*. Karakteristik *X-ray* pada spesifik elemen terpisah menjadi spektrum energi oleh deteksi *Energy Dispersive X-ray* (EDX). SEM cocok untuk menganalisa material dengan alasan; dibandingkan dengan mikroskop cahaya konvensional, memiliki resolusi superior dari struktur tiga dimensi dan mampu mencapai pembesaran yang lebih tinggi. Ketika dikombinasikan dengan EDX memiliki keuntungan yaitu distribusi elemen kotor suatu sampel dapat dihubungkan langsung secara visual dari taksiran elemen (Ellingham, 2017).

## 2.8 Analisis Sifat Mekanik

Sifat mekanik pada semua bahan merupakan sifat yang paling penting karena pembeli biasanya melihat dari sifat tersebut. Beberapa sifat mekanik yaitu, kuat tarik, modulus, *elongation* (perpanjangan) dan *compressive strength* (kuat tekan). Alat yang digunakan untuk analisis mekanik yaitu *Universal Testing Machine* (UTM). UTM selain digunakan untuk uji tarik dan lentur dapat juga digunakan untuk uji tekan berbagai jenis bahan. Kuat tekan menggambarkan suatu bahan ketika dikenai beban dan juga kuat tekan merupakan hal yang dapat dianggap sebagai indikasi kegagalan suatu material. Deflometer atau kompresometer digunakan untuk mengukur jarak antara dua titik pada spesimen uji pada saat pengujian. Spesimen ditempatkan diantara permukaan alat kompresi, dan pastikan ujung spesimen sejajar dengan permukaan alat kompresi. Kuat tekan dihitung

dengan membagi beban tekan maksimum yang dibawa oleh spesimen selama pengujian dengan luas penampang minimum dari spesimen (Shah, 2007)

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian dilakukan di laboratorium Bahan Kesehatan, Bidang Proses Radiasi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pasar Jumat, Jakarta Selatan. Penelitian dilakukan pada bulan Februari s.d Mei 2018. Pada lokasi ini dilakukan pengujian sampel komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), uji kuat tekan dengan *Universal Testing Machine* (UTM) dilakukan di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN), BATAN Kawasan Puspittek- Tangerang Selatan dan pengujian dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) - *Energy Dispersive X-ray* (EDX) dilakukan di laboratorium Forensik Mabes Polri, Kalimalang, Jakarta Timur.

#### 3.2. Alat dan Bahan

##### 3.2.1. Alat:

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1. Timbangan analitis                      | 15. Pipet volumetrik                |
| 2. <i>Bone Saw Machine</i>                 | 16. Mikrometer                      |
| 3. <i>Water Jet</i>                        | 17. Indikator pH Universal          |
| 4. <i>Beaker Glass</i>                     | 18. Kertas saring                   |
| 5. <i>Freezer</i>                          | 19. Corong Buchner                  |
| 6. <i>Bransonic</i>                        | 20. Pompa vacuum                    |
| 7. Oven                                    | 21. Pipet ukur                      |
| 8. <i>Autoclave</i>                        | 22. Sikat tabung reaksi             |
| 9. <i>Thermostirrer + magnetic stirrer</i> | 23. Botol sampel                    |
| 10. Alat pencetak <i>Scaffold</i>          | 24. Alat radiasi/ <i>Gamma Cell</i> |
| 11. Spatula logam                          | 25. FTIR                            |
| 12. Mortal dan Pestle                      | 26. UTM                             |
| 13. Pengaduk                               | 27. SEM-EDX                         |
| 14. Cawan petri                            |                                     |

### 3.2.2. Bahan:

1. Tulang Korteks dan Karseles Sapi
2. Natrium Hidroksida (NaOH)
3. Kitosan (*Medical Grade*)
4. Poli-Vinil Alkohol
5. Aquades
6. Asam Asetat Glisial

### 3.3. Variabel Penelitian

#### 3.3.1. Variabel tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang tidak berubah selama penelitian berlangsung. Variabel tetap dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Konsentrasi : 10% dan 20% NaOH
- b. Suhu : 121°C (*autoclave*)  
40° C dan 225° C (*termostirrer*)  
30° C (pengerinan sampel dengan suhu ruangan)
- c. Waktu : 15 menit (proses penghilangan lemak di *autoclave*)  
30 menit (proses penghancuran tulang di *autoclave*)  
6 jam (proses pengadukan dengan *termostirrer* dan *magnetic stirrer*)  
2×5 menit (pengadukan dengan *homogeneizer*)  
24 jam (pengerinan)

#### 3.3.2. Variabel bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang di variasikan pada tiap penelitian agar didapat hasil yang diinginkan. Variabel bebas memiliki fungsi utama sebagai acuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel lain. Pada penelitian ini variabel bebas yang ditetapkan adalah berat hidroksiapatit, konsentrasi kitosan dan konsentrasi PVA untuk pembuatan komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA. Tabel 3.1 memperlihatkan variasi komposisi komposit hidroksiapatit tulang sapi-kitosan-PVA dan tabel 3.2 memperlihatkan dosis iradiasi sinar gamma variasi komposisi komposit hidroksiapatit tulang sapi-kitosan-PVA.

Tabel 3.1 Variasi Komposisi Hidroksiapatit-Kitosan-Polivinil Alkohol (PVA)

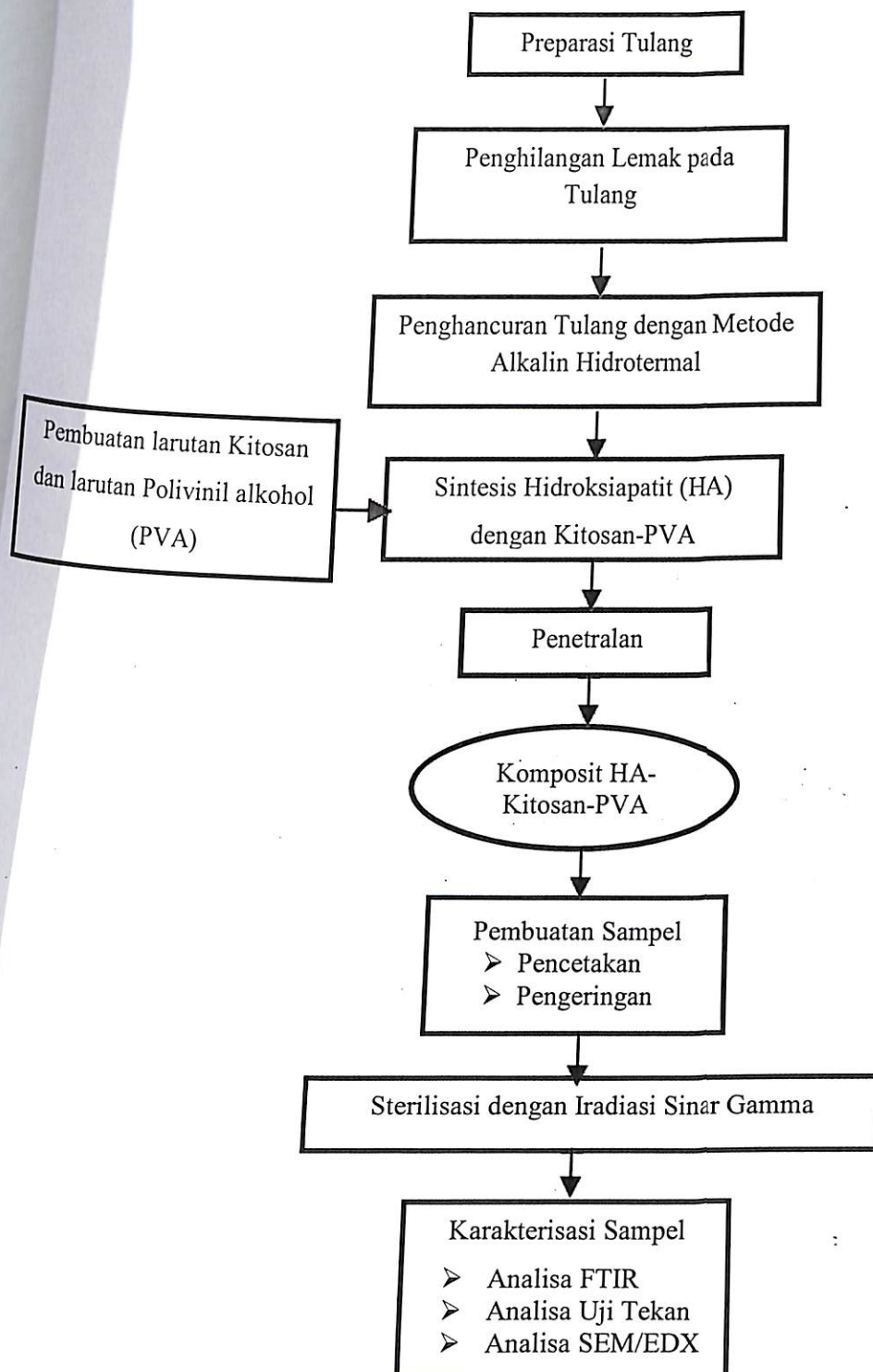
Sampel	Hidroksiapatit (g)	Kitosan (%)	PVA (%)
A0	30	0	0
A1	30	2	0
A2	30	2	1
A3	30	2	3
A4	30	2	5
A5	10	2	3

Tabel 3.2 Dosis Iradiasi Gamma dan Variasi komposisi Hidroksiapatit-Kitosan-PVA

Sampel	Hidroksiapatit (g) : Konsentrasi Kitosan (%) : PVA (%)	Dosis Iradiasi Gamma Sel (kGy)
A0	30 g : 0% : 0%	0
		15
		25
A1	30 g : 2 % : 0%	0
		15
		25
A2	30 g : 2 % : 1%	0
		15
		25
A3	30 g : 2 % : 3 %	0
		15
		25
A4	30 g : 2 % : 5 %	0
		15
		25
A5	10 g : 2 % : 3 %	0
		15
		25

### 3.4. Pembuatan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-Polivinil Alkohol (PVA)

Pembuatan komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) ditampilkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA

### 3.4.1 Preparasi tulang sapi

Preparasi tulang sapi pada pembuatan komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dimulai dengan pemotongan tulang sapi yang diambil dari lemari pendingin. Tulang sapi dipotong, lalu diambil bagian korteks dan kanseles dengan alat *bone saw machine*. Hasil potongan tersebut masih terdapat kotoran seperti darah yang masih menempel pada tulang, kemudian dibersihkan menggunakan mesin air bertekanan (*water jet*) yang bertujuan untuk membersihkan kotoran tersebut. Tulang yang sudah bersih dipisahkan menurut bagiannya.

### 3.4.2 Penghilangan Lemak

Pada proses penghilangan lemak tulang yang sudah bersih dan sudah dipotong-potong dimasukan kedalam botol kemudian dilakukan perebusan didalam *autoclave* dengan menggunakan akuades pada suhu 121°C selama 15 menit untuk menghilangkan cairan di dalam tulang, sumsum tulang dan sisa-sisa jaringan lunak. Hasilnya terdapat lapisan cairan berwarna kuning seperti minyak pada permukaan atas air yang diasumsikan sebagai lemak. Jaringan lunak banyak yang mulai terlepas dari tulang, untuk itu dilakukan pengulangan sebanyak 6 kali hingga cairan yang terbentuk berwarna jernih.

### 3.4.3 Penghancuran Tulang dengan Metode Alkalin Hidrotermal

Proses penghancuran tulang dengan metode alkalin hidrotermal adalah proses dari penghancuran tulang sapi. Sebanyak tulang korteks dan kanseles kering pada variasi berat ditambah dengan 300 ml larutan NaOH 10%, kemudian di *autoclave* pada suhu 121°C selama 30 menit. Setelah proses *autoclave*, warna larutan NaOH yang semula jernih berubah menjadi kuning tua jernih. Dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali. Warna kuning semakin memudar setelah proses *autoclave* yang kedua. Kemudian, dilakukan pengadukan di *thermostirrer* menggunakan *magnetic thermostirrer* untuk membantu penghancuran tulang.

Setelah itu ditambahkan larutan NaOH 20% sebanyak 300 ml – 500 ml dan dilakukan pengadukan kembali. Dilakukan homogenisasi dengan *homogeneizer* dengan kecepatan kurang lebih 48-60 rpm. Setelah itu dilakukan pengadukan kembali dengan *stirrer*. Kemudian dilakukan pengecekan potongan

tulang secara visual. Suspensi hidroksiapatit yang terbentuk di diamkan selama satu malam dan terbentuk endapan putih yang sangat halus.

#### 3.4.4 Pembuatan larutan kitosan dan PVA

Pembuatan larutan kitosan dan PVA dalam 100 ml akuades dilakukan sebelum dilakukan sintesis komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan langkah sebagai berikut:

##### 1. Pembuatan larutan polivinil alkohol (PVA)

PVA dengan variasi % konsentrasi ditambahkan dengan akuades. Dimasukkan ke dalam *autoclave* selama 10 menit pada suhu 121°C sampai larutan PVA terlarut sempurna.

##### 2. Pembuatan larutan kitosan

Serbuk kitosan dengan variasi % konsentrasi ditambahkan akuades dan 1% asam asetat glasial. Campuran diaduk dengan pengaduk pada suhu ruang selama kurang lebih 15 menit. Lalu campuran di diamkan selama 24 jam atau semalaman agar campuran terlarut sempurna.

Larutan kitosan dan larutan PVA kemudian di campur. Campuran di aduk dengan pengaduk pada suhu ruang sampai tercampur sempurna. Larutan kitosan-PVA yang telah tercampur sempurna kemudian akan dimasukan ke labu tetes yang selanjutnya akan di sintesis dengan hidroksiapatit.

#### 3.4.5 Sintesis komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA

Sintesis komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dilakukan dengan metode pencampuran sederhana. Larutan kitosan-PVA yang terdapat di labu tetes dilarutkan/diteteskan ke dalam suspensi hidroksiapatit (campuran hidroksiapatit yang sudah *distirrer*) dengan pengaduk *magnetic stirrer* pada suhu 40°C sampai larutan kitosan-PVA habis. Selanjutnya campuran dihomogenkan menggunakan *homogeneizer* selama 10 menit. Kemudian dilakukan proses pengadukan kembali dengan pengaduk *magnetic stirrer* selama 6 jam pada suhu 40°C sampai homogen.

tulang secara visual. Suspensi hidroksiapatit yang terbentuk di diamkan selama satu malam dan terbentuk endapan putih yang sangat halus.

#### 3.4.4 Pembuatan larutan kitosan dan PVA

Pembuatan larutan kitosan dan PVA dalam 100 ml akuades dilakukan sebelum dilakukan sintesis komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan langkah sebagai berikut:

1. Pembuatan larutan poli vinil alkohol (PVA)  
PVA dengan variasi % konsentrasi ditambahkan dengan akuades. Dimasukkan ke dalam *autoclave* selama 10 menit pada suhu 121°C sampai larutan PVA terlarut sempurna.
2. Pembuatan larutan kitosan  
Serbuk kitosan dengan variasi % konsentrasi ditambahkan akuades dan 1% asam asetat glasial. Campuran diaduk dengan pengaduk pada suhu ruang selama kurang lebih 15 menit. Lalu campuran di diamkan selama 24 jam atau semalaman agar campuran terlarut sempurna.  
Larutan kitosan dan larutan PVA kemudian di campur. Campuran di aduk dengan pengaduk pada suhu ruang sampai tercampur sempurna. Larutan kitosan-PVA yang telah tercampur sempurna kemudian akan dimasukan ke labu tetes yang selanjutnya akan di sintesis dengan hidroksiapatit.

#### 3.4.5 Sintesis komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA

Sintesis komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dilakukan dengan metode pencampuran sederhana. Larutan kitosan-PVA yang terdapat di labu tetes dilarutkan/diteteskan kedalam suspensi hidroksiapatit (campuran hidroksiapatit yang sudah *distirrer*) dengan pengaduk *magnetic stirrer* pada suhu 40°C sampai larutan kitosan-PVA habis. Selanjutnya campuran dihomogenkan menggunakan *homogeneizer* selama 10 menit. Kemudian dilakukan proses pengadukan kembali dengan pengaduk *magnetic stirrer* selama 6 jam pada suhu 40°C sampai homogen.

### 3.4.6 Penetralkan

Penetralkan dilakukan dengan cara pencucian dan penyaringan dengan penambahan akuades menggunakan corong buchner berpori pada vacuum sampai campuran larutan dalam keadaan netral dan dalam bentuk *slurry*.

### 3.4.7 Pembuatan Sampel

Pada tahap pembuatan sampel, *slurry* yang dihasilkan dikeringkan di dalam oven pada suhu 60°C selama 1 sampai 2 jam sampai sampel tidak lengket. Komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dituang ke dalam cetakan berukuran lebar 35 mm, panjang 92 mm dan tinggi 15 mm dengan bentuk *scaffold* ukuran diameter 12 mm dan tinggi 15 mm, kemudian dikeringkan pada suhu ruangan sampai terlihat mengeras.

### 3.4.8 Sterilisasi dengan Iradiasi Sinar Gamma

Komposit kering berbentuk *scaffold* dikemas, kemudian dilakukan proses sterilisasi dengan cara diiradiasi menggunakan sinar gamma pada dosis 15 kGy dan 25 kGy. Iradiasi dilakukan pada fasilitas Iradiasi Gamma Karet Alam (IRKA) Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pasar Jum'at dan dilakukan dengan laju dosis 5,37 kGy/jam. Proses selanjutnya adalah melakukan karakterisasi komposit dan unsur penyusunnya.

## 3.5. Karakterisasi Sampel

### 3.5.1. Analisa Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA dengan FTIR

Analisa komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dilakukan untuk menganalisa gugus fungsi yang terkandung di dalam komposit. Analisa ini menggunakan seluruh sampel pada komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dalam bentuk serbuk. Bahan untuk membantu membaca komposit adalah kalium bromida (KBr).

### 3.5.2. Analisa Kuat Tekan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA dengan UTM

Analisa kuat tekan komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan UTM (*Universal Testing Machine*) dilakukan untuk mengetahui seberapa tahan sampel menerima beban yang diberikan hingga hancur. Analisa kuat tekan dilakukan pada seluruh sampel komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dalam bentuk *scaffold*.

Sampel yang permukaannya halus ditempatkan pada bagian penekan mesin uji tekan, lalu mesin dinyalakan. Atur kecepatan dan pilih *range* beban atau gaya. Kemudian *load cell* diturunkan perlahan, lalu di *stop* dan dicatat besar gaya dan *strain*. Secara otomatis gaya maksimal yang dapat ditahan oleh sampel ditampilkan oleh mesin uji tekan.

### 3.5.3. Analisa komposit Hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan SEM-EDX

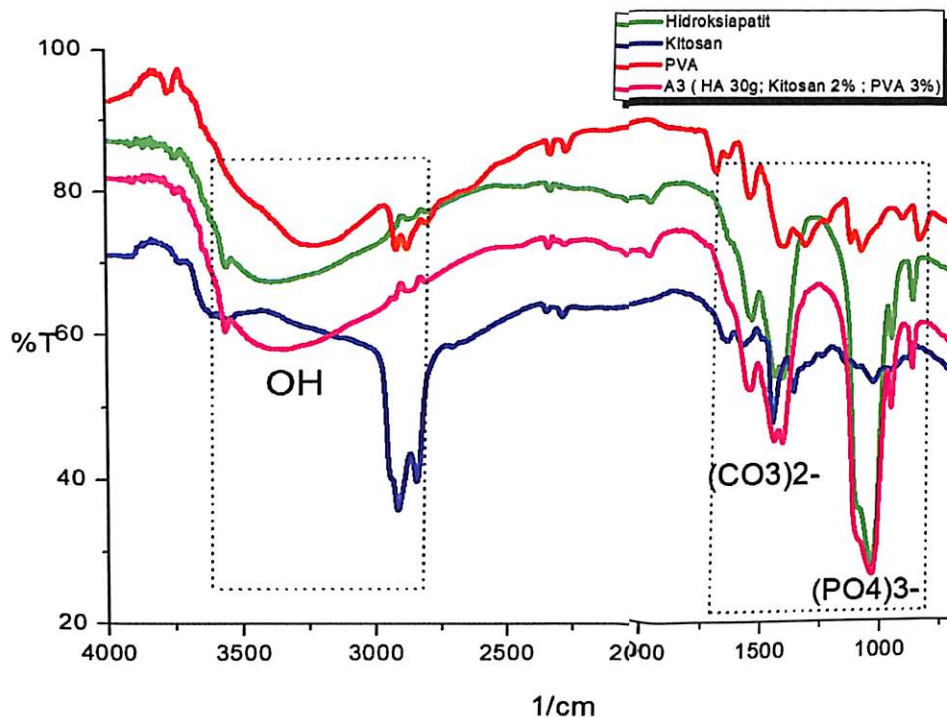
Analisa komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) – EDX (*Energy Dispersive X-ray*) dilakukan untuk mengetahui morfologi dan komposisi yang terdapat pada komposit. Analisa uji SEM-EDX dilakukan pada sampel yang memiliki variasi konsentrasi PVA dengan perbesaran 50×, 100×, 250×, 500×, 1.000×, 2.500×, 5.000×, dengan titik yang sama pada masing-masing sampel. Secara singkat, proses pengujian SEM-EDX terlebih dahulu dilakukan *coating*. Alat SEM dimulai dengan mengaktifkan program SMARTSEM pada PC. Sampel yang sudah dicoating dimasukkan dan proses berjalan. Setelah mendapat gambar yang diinginkan tekan menu *photo* untuk menghentikan scanning dan menu *save* untuk menyimpan gambar.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisa Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA dengan FTIR

Dilakukan karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk melihat gugus fungsi yang terdapat pada sampel. Berikut merupakan hasil identifikasi spektrum FTIR Hidroksiapatit, Kitosan, PVA dan diambil salah satu contoh spektrum A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2% ; Polivinil Alkohol (PVA) 3%) dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Spektrum FTIR Hidroksiapatit, Kitosan, PVA dan A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%)

Pada spektrum A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) terdapat puncak regangan antara 3000 - 3500 cm<sup>-1</sup>, kisaran 1400 - 1550 cm<sup>-1</sup> dan 950 - 1100 cm<sup>-1</sup>. Keterangan lebih lanjut ketiga spektrum di atas dapat diidentifikasi pada tabel 4.1 berikut.

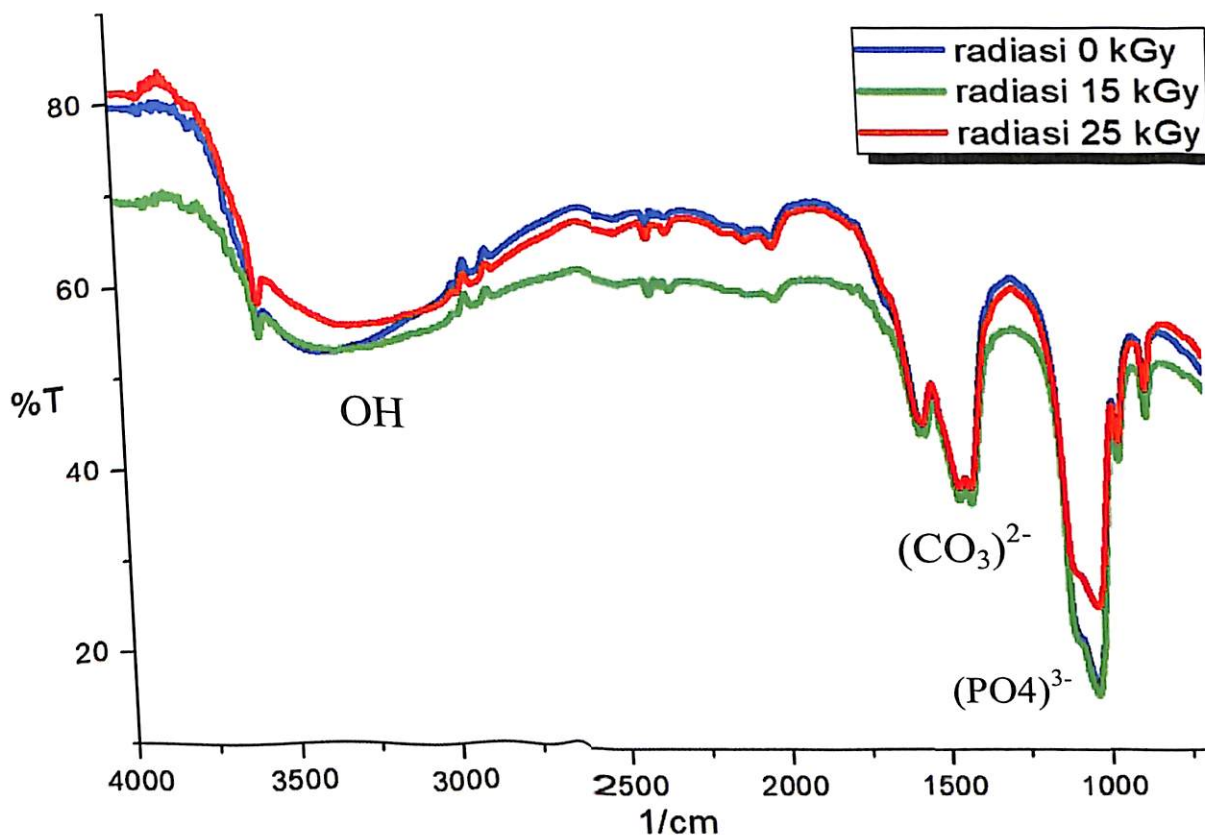
**Tabel 4.1** Hasil Identifikasi Spektrum FTIR pada Hidroksiapatit, Kitosan dan PVA dan Sampel A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; Polivinil Alkohol (PVA) 3%)

Identifikasi Gugus Fungsi	Daerah Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Hidroksiapatit ( $\text{cm}^{-1}$ )	Kitosan ( $\text{cm}^{-1}$ )	PVA ( $\text{cm}^{-1}$ )	A3 ( $\text{cm}^{-1}$ )
Gugus O-H	3.200 – 3.600	3.518,16	3.234,62 – 3.568,31	3.228,84 – 3.288,63	3.265,49 – 3.570,24
Gugus N-H (Amina primer dan sekunder)	3.100 – 3.500	3.132,40	3.234,62 – 3.348,42	3.228,84 – 3.288,63	3.265,49 – 3.346,50
Gugus C-H (alkana)	2.850 – 3.000	2.854,65 – 2.922,16	-	2.904,80 – 2.943,37	2.900,94
Gugus Amina (N-H)	1.550 – 1.640	1.587,42	-	-	-
Gugus Karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ )	1.400 – 1.450	-	1.417,68	1.421,54	1.417,68
Gugus Fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	950 – 1.100	962,48 – 1.039,63	960,55 – 1.037,70	1.093,64	960,55 – 1037,70

Pada hasil spektrum diatas terlihat bahwa karakteristik gabungan hidroksiapatit, kitosan dan PVA terdapat antara bilangan gelombang  $3570,24 \text{ cm}^{-1}$  dan  $3265,49 \text{ cm}^{-1}$  (vibrasi regang OH), serapan yang khas dari karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) pada  $1417,68 \text{ cm}^{-1}$ , kemudian serapan fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) pada  $1037,70 \text{ cm}^{-1}$  -  $960,55 \text{ cm}^{-1}$ . Seluruh spektrum yang telah kami uji pada Lampiran C menunjukkan bahwa sampel yang kami uji merupakan gabungan dari hidroksiapatit, kitosan dan PVA, serta terlihat bahwa jenis hidroksiapatit yang terbentuk merupakan hidroksiapatit karbonat, dimana senyawa tersebut memiliki kristalinitas yang rendah dan sifat bioaktifitas yang baik diperkuat dengan hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Yessy dkk (2015) seperti pada kalimatnya bahwa karakteristik spektrum polivinil alkohol terdapat pada bilangan gelombang  $3414 \text{ cm}^{-1}$  dan  $3245 \text{ cm}^{-1}$  (vibrasi regang OH),  $2943 \text{ cm}^{-1}$  (vibrasi regang CH/CH<sub>2</sub>),  $1713 \text{ cm}^{-1}$  (vibrasi regang  $-\text{C}=\text{O}$ ),  $1324 \text{ cm}^{-1}$  (vibrasi regang  $-\text{C}-\text{H}$ ),  $1142 \text{ cm}^{-1}$  (vibrasi  $-\text{C}-\text{C}$ ). Kemudian karakteristik dari spektrum kitosan adalah puncak pada bilangan

gelombang  $3508\text{ cm}^{-1}$  (vibrasi regang  $\text{-OH}$ ),  $3302 - 3236\text{ cm}^{-1}$  (vibrasi  $\text{H-NH}$ ),  $2895\text{ cm}^{-1}$  (vibrasi  $\text{O-CH}_2$ ),  $1668\text{ cm}^{-1}$  (amida I),  $1587\text{ cm}^{-1}$  (amida II),  $1440 - 1338\text{ cm}^{-1}$  (vibrasi  $\text{C-OH}$ ). Karakteristik spektra hidroksiapatit tulang sapi yaitu vibrasi regang  $\text{OH}$  pada daerah  $3570 - 3350\text{ cm}^{-1}$ , vibrasi tekuk  $\text{HOH}$  pada  $1641\text{ cm}^{-1}$ , serapan yang khas dari karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) pada  $1416\text{ cm}^{-1}$  dan  $874\text{ cm}^{-1}$ , kemudian serapan fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) pada  $1037\text{ cm}^{-1}$ ,  $604\text{ cm}^{-1}$  dan  $568\text{ cm}^{-1}$ .

Dilakukan perbandingan sampel A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) pada variasi radiasi untuk melihat pengaruh dosis radiasi terhadap spektrum FTIR komposit hidroksiapatit, kitosan dan PVA. Berikut merupakan hasil identifikasi spektrum FTIR komposit hidroksiapatit, kitosan dan PVA pada variasi dosis radiasi pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Spektrum FTIR A3 Variasi Dosis Radiasi

Dari hasil spektrum FTIR untuk sampel yang telah di radiasi dirangkum dalam tabel 4.2 berikut.

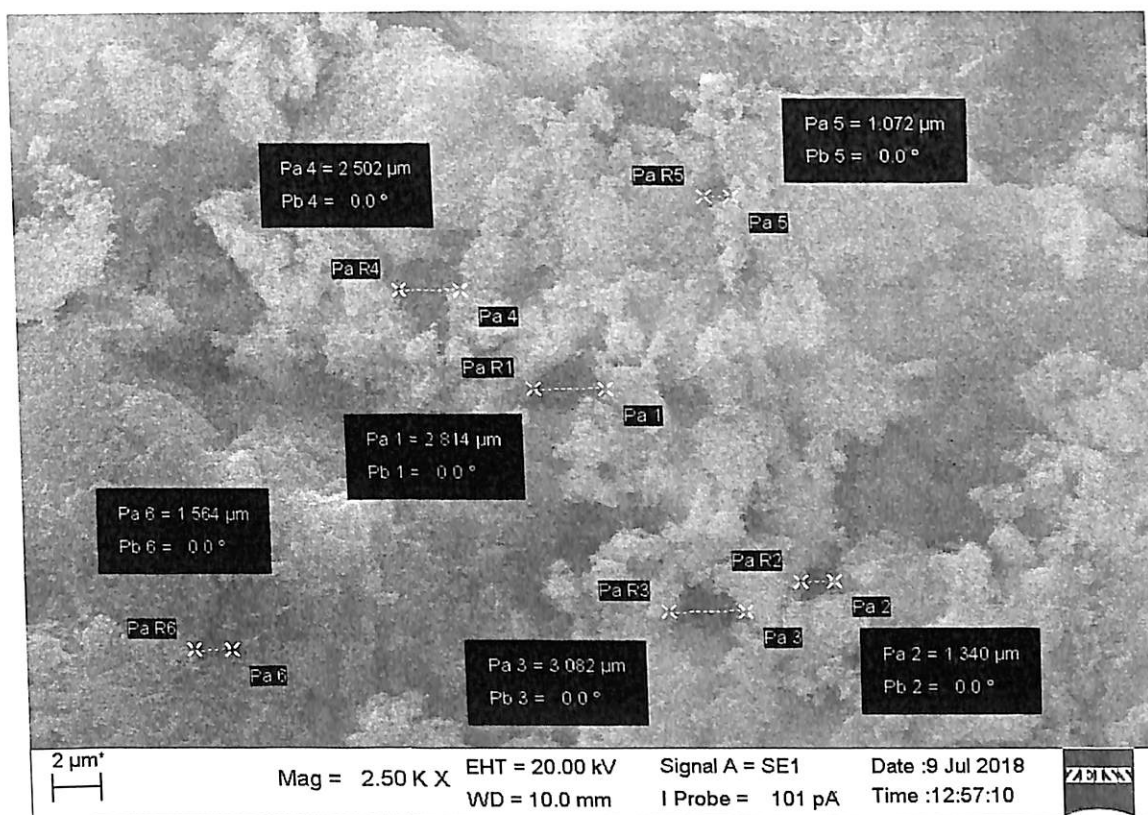
**Tabel 4.2 Hasil Identifikasi Spektrum FTIR A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) Variasi Dosis Radiasi**

Identifikasi Gugus Fungsi	Daerah bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Radiasi (kGy)	A3 ( $\text{cm}^{-1}$ )
Gugus O-H	3.200 – 3.600	0	3265,49 – 3570,24
		15	3230,77 – 3570,24
		25	3228,84 – 3568,31
Gugus N-H (Amina primer dan sekunder)	3.100 – 3.500	0	3265,49 – 3346,50
		15	3230,77 – 3336,85
		25	3228,84 – 3290,56
Gugus C-H (alkana)	2.850 – 3.000	0	2835,36 – 2900,94
		15	2897,08
		25	2900,94 – 2947,23
Gugus Amina (N-H)	1.575 – 1.650	0	1562,34
		15	1552,70
		25	1558,48
Gugus $(\text{CO}_3)^{2-}$	1.400 – 1.450	0	1417,68 – 1452,40
		15	1415,75 – 1450,47
		25	1417,68 – 1450,47
Gugus Fosfat $(\text{PO}_4)^{3-}$	950 – 1.100	0	960,55 – 1037,70
		15	960,55 – 1037,70
		25	960,55 – 1037,70

Dari data yang telah dihasilkan spektrum FTIR untuk sampel A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%). Setelah radiasi 15 kGy dan 25 kGy terjadi pergeseran bilangan puncak serapan dari tiap gugus fungsi. Dimana pada radiasi 15 kGy puncak serapan bertambah tajam disebabkan bertambahnya jumlah radikal yang terbentuk sehingga molekul monomer kitosan akan meningkat pula, sedangkan pada dosis 25 kGy puncak serapan mengalami pelebaran puncak serapan dimana mulai terjadi penurunan fraksi padatan sehingga menyebabkan hambatan difusi monomer ke dalam matriks kitosan seperti penelitian yang dilakukan Resko (2012). Dari hasil yang telah didapat disimpulkan bahwa tidak ada pengaruh variasi dosis radiasi terhadap perubahan gugus fungsi yang terdapat pada komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA.

#### 4.2. Analisa Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA SEM-EDX

Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan SEM-EDX yang bertujuan untuk mengetahui besarnya diameter pori yang terbentuk pada sampel, sekaligus mengamati komposisi yang terkandung pada sampel. Pengujian dilakukan pada 3 sampel komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan variasi PVA 1%, 3% dan 5% yaitu pada sampel A2 (Hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 1% konsentrasi PVA), A3 (Hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA) dan A4 (Hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 5% konsentrasi PVA). Berikut gambar 4.3 hasil uji SEM pada sampel A2 (Hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 1% konsentrasi PVA).



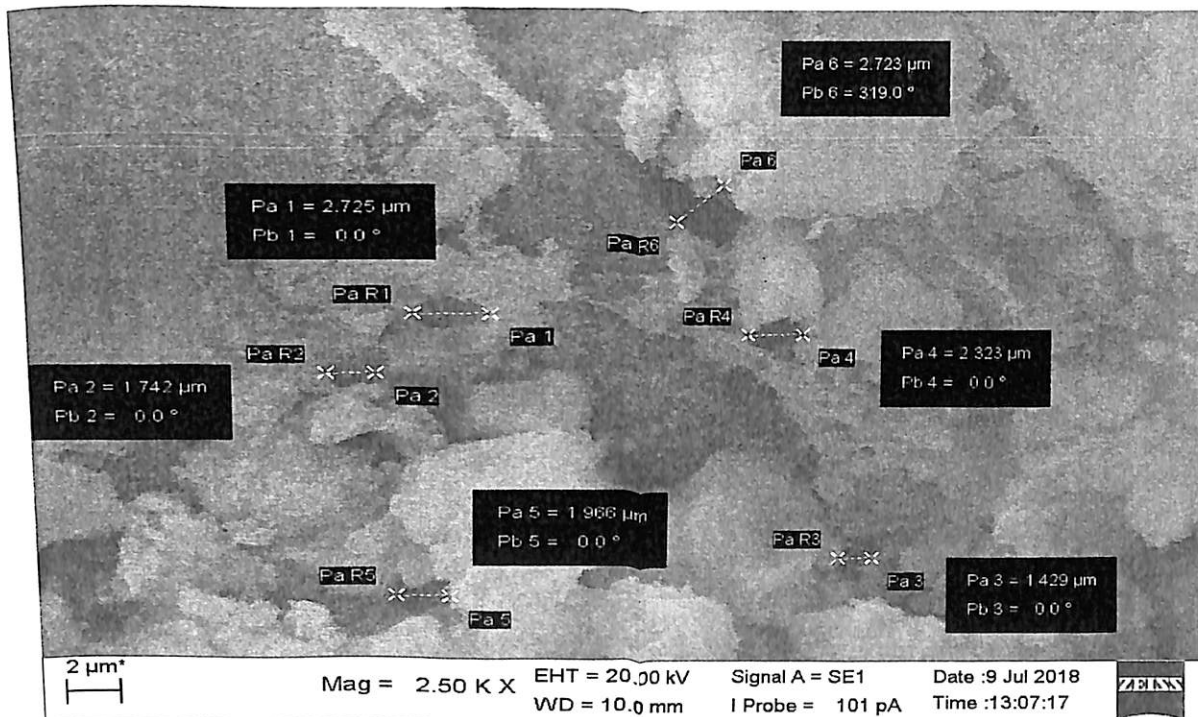
**Gambar 4.3** Hasil Uji SEM Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA pada Sampel A2 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 1%) dengan Perbesaran 2.500×

Pada gambar 4.3 terlihat struktur pada permukaan komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan variasi konsentrasi PVA 1% dan juga terlihat hasil nilai ukuran pori *scaffold* dengan perbesaran 2.500× yang dirangkum pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Rentang Pori Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA pada Sampel A2 (hidroksiapatit 30g; kitosan 2%; PVA 1%) pada Perbesaran 2.500×

Pori	Ukuran Pori komposit ( $\mu\text{m}$ )
Pori 1 (Pa 1)	2,814
Pori 2 (Pa 2)	1,340
Pori 3 (Pa 3)	3,082
Pori 4 (Pa 4)	2,502
Pori 5 (Pa 5)	1,072
Pori 6 (Pa 6)	1,564

Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa pada sampel A2 (hidroksiapatit 30g ; 2% konsentrasi kitosan; 1% konsentrasi PVA) memiliki ukuran nilai pori pada kisaran 1,072  $\mu\text{m}$  – 3,082  $\mu\text{m}$  dan terlihat butiran kecil partikel pada permukaan *scaffold* yang menyebabkan permukaan menjadi kurang halus. Berikut gambar 4.4 hasil uji SEM pada sampel A3 (Hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA).



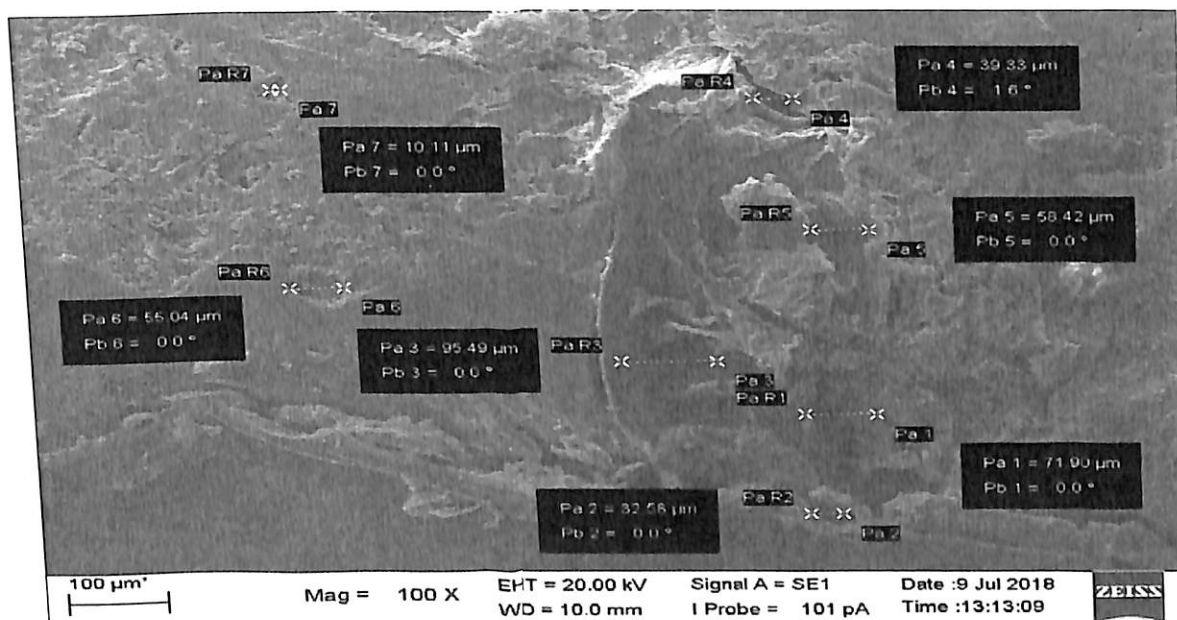
**Gambar 4.4** Hasil uji SEM komposit hidroksiaoatit-kitosan-PVA pada sampel A3 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) dengan perbesaran 2.500×

Pada gambar 4.4 terlihat struktur pada permukaan komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan variasi konsentrasi PVA 3%. Pada gambar terlihat hasil nilai ukuran pori *scaffold* dengan perbesaran 2.500× yang dirangkum pada tabel 4.4

**Tabel 4.4** Rentang Pori Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A3 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) pada Perbesaran 2.500×

Pori	Ukuran Pori komposit ( $\mu\text{m}$ )
Pori 1 (Pa 1)	2,725
Pori 2 (Pa 2)	1,742
Pori 3 (Pa 3)	1,429
Pori 4 (Pa 4)	2,323
Pori 5 (Pa 5)	1,966
Pori 6 (Pa 6)	2,723

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa pada sampel A3 (Hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA) memiliki ukuran nilai pori pada kisaran 1,429  $\mu\text{m}$  – 2,725  $\mu\text{m}$  yang berarti memiliki ukuran nilai pori lebih kecil dibandingkan A2. Berikut gambar 4.5 hasil uji SEM pada sampel A4 (Hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 5% konsentrasi PVA).



**Gambar 4.5** Hasil Uji SEM Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA pada Sampel A4 (hidroksiapatit 30g; kitosan 2%; PVA 5%) dengan Perbesaran 100×

Pada gambar 4.5 terlihat struktur pada permukaan komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan variasi konsentrasi PVA 5%. Pada gambar terlihat hasil nilai

ukuran pori komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA dengan perbesaran 100x yang dirangkum pada tabel 4.5.

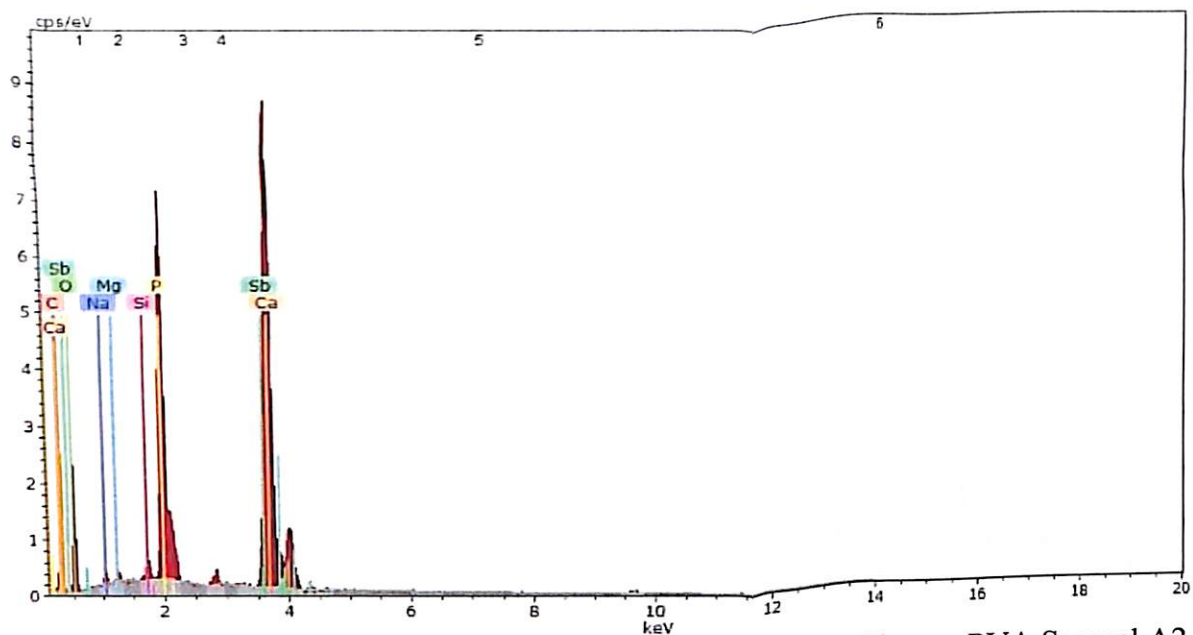
**Tabel 4.5** Rentang Pori pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA pada Sampel A4 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 5%) pada Perbesaran 100×

Pori	Ukuran Pori Komposit ( $\mu\text{m}$ )
Pori 1 (Pa 1)	71,90
Pori 2 (Pa 2)	32,58
Pori 3 (Pa 3)	95,49
Pori 4 (Pa 4)	39,33
Pori 5 (Pa 5)	58,42
Pori 6 (Pa 6)	55,04
Pori 7 (Pa 7)	10,11

Dari tabel 4.5 dapat dilihat bahwa pada sampel A4 (hidroksiapatit 30g ; 2% konsentrasi kitosan; 5% konsentrasi PVA) memiliki ukuran nilai pori pada kisaran 10,11  $\mu\text{m}$  – 95,49  $\mu\text{m}$  yang berarti memiliki ukuran nilai pori lebih besar dibandingkan A2 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 1% konsentrasi PVA) dan A3 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA)

Dari ketiga sampel variasi PVA berikut dapat disimpulkan bahwa hasil analisa SEM pada ketiga sampel memiliki rentang diameter ukuran pori 1,07 – 95,49  $\mu\text{m}$ . Menurut Joon-Pyo dkk (2009) mengindikasikan bahwa meningkatnya konsentrasi polimer pada campuran menyebabkan viskositas komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol menjadi lebih besar yang berakibat ukuran dari diameter partikel meningkat. Sedangkan untuk rentang diameter ukuran pori untuk biomaterial direkomendasikan memiliki ukuran diameter pori kecil dengan kisaran 50 – 500 nm.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengujian menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) yang bertujuan untuk mengetahui komposisi yang ada pada komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA. Berikut hasil uji EDX komposit hidroksiapatit-kitosan-pva pada sampel A2 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 1% konsentrasi PVA) yang tergambar pada gambar 4.6.



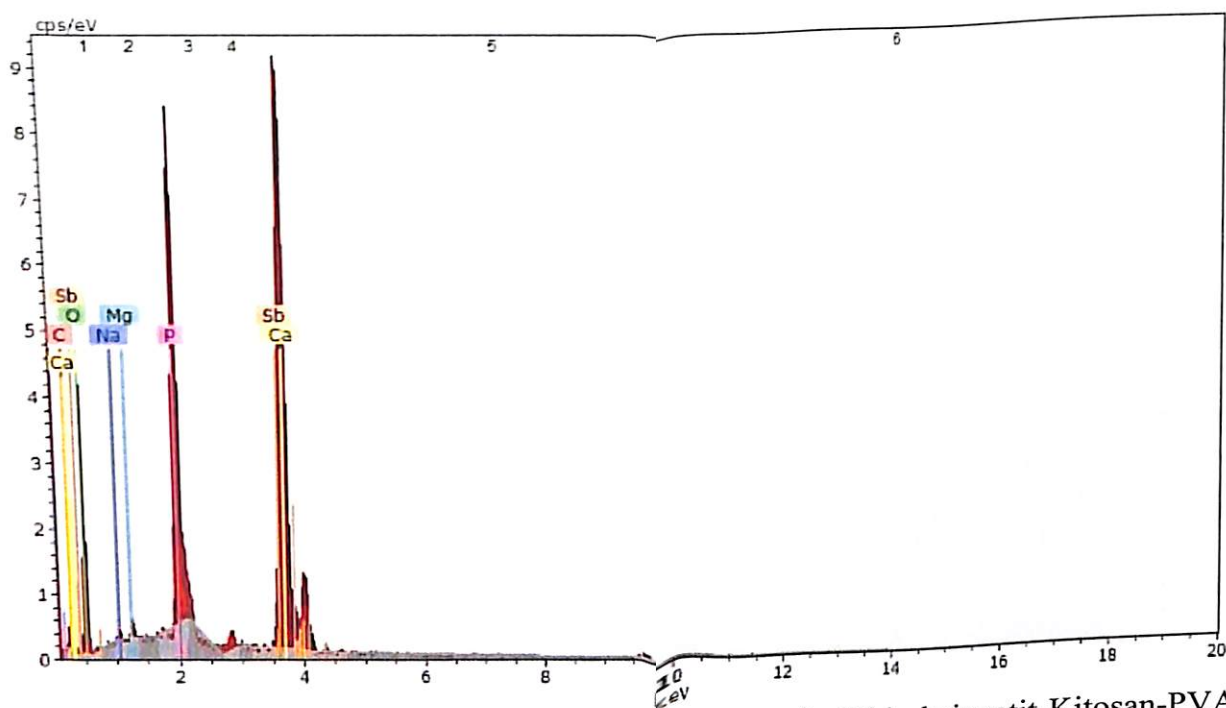
**Gambar 4.6** Spektrum EDX Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A2 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%)

Berikut komposisi dari hasil spektrum EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) pada komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA sampel A2 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 1%) yang dirangkum pada tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Komposisi pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A2 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%)

Unsur	% wt
Karbon	8,08
Oksigen	27,53
Sodium	0,45
Magnesium	0,37
Silikon	0,64
Fosfor	13,61
Kalsium	35,17
Antimoni	14,16

Berikut hasil uji EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) pada sampel A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) yang tergambar pada gambar 4.7.



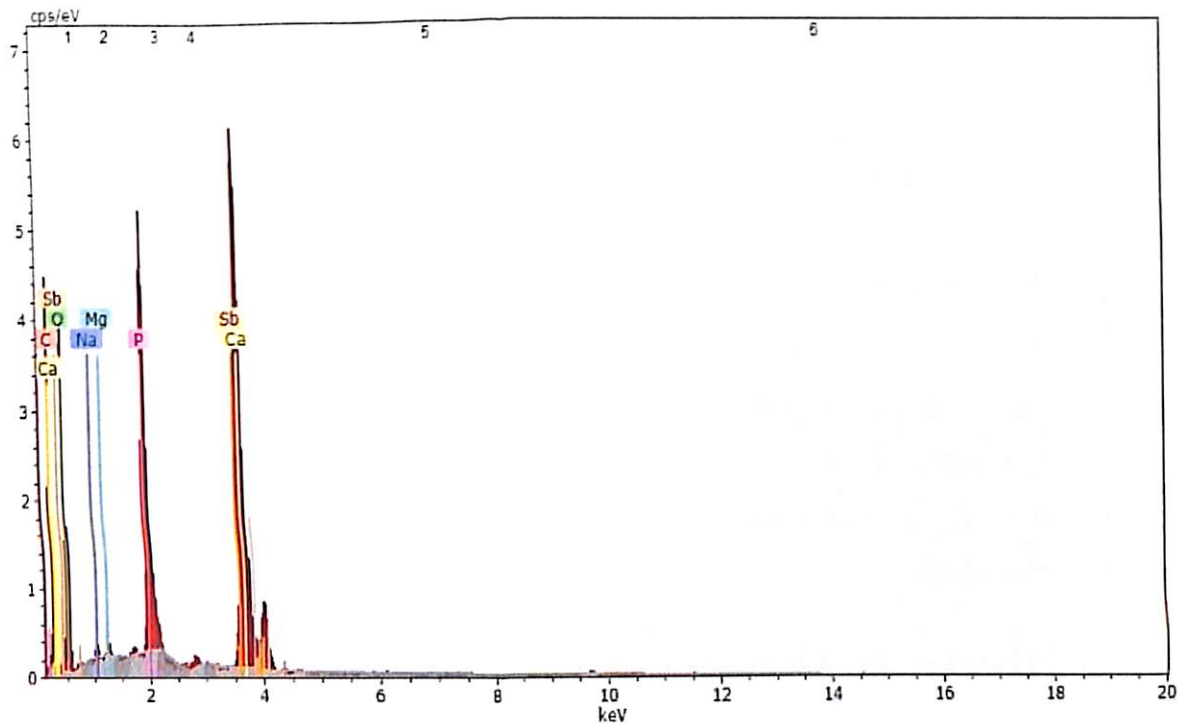
**Gambar 4.7** Spektrum EDX pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A3 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%)

Berikut komposisi dari hasil spektrum EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA sampel A3 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) yang dirangkum pada tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Komposisi pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A3 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 3%)

Unsur	% wt
Karbon	8,79
Oksigen	36,70
Sodium	0,35
Magnesium	0,50
Fosfor	8,00
Kalsium	33,14
Antimoni	12,52

Berikut hasil uji EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) pada sampel A4 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 5%) yang digambarkan pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Spektrum EDX pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A4 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 5%)

Berikut komposisi dari hasil spektrum EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA sampel A4 (Hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 5%) yang dirangkum pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Komposisi pada Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Sampel A4 (hidroksiapatit 30g; Kitosan 2%; PVA 5%)

Unsur	% wt
Karbon	31,04
Oksigen	36,54
Sodium	0,24
Magnesium	0,22
Fosfor	5,50
Kalsium	20,14
Antimoni	6,32

Dari spektrum EDX dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi PVA, maka persentasi fosfor dan kalsium sebagai mineral paling banyak dalam tubuh semakin berkurang. Dalam pengujian menggunakan SEM-EDX ini persentasi fosfor dan kalsium yang paling tinggi sebagai mineral penting untuk

tulang yaitu pada sampel A2 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 1% konsentrasi PVA) dengan persentasi fosfor 13,61 % wt dan kalsium 35,17 % wt.

#### 4.3. Analisa Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA dengan UTM

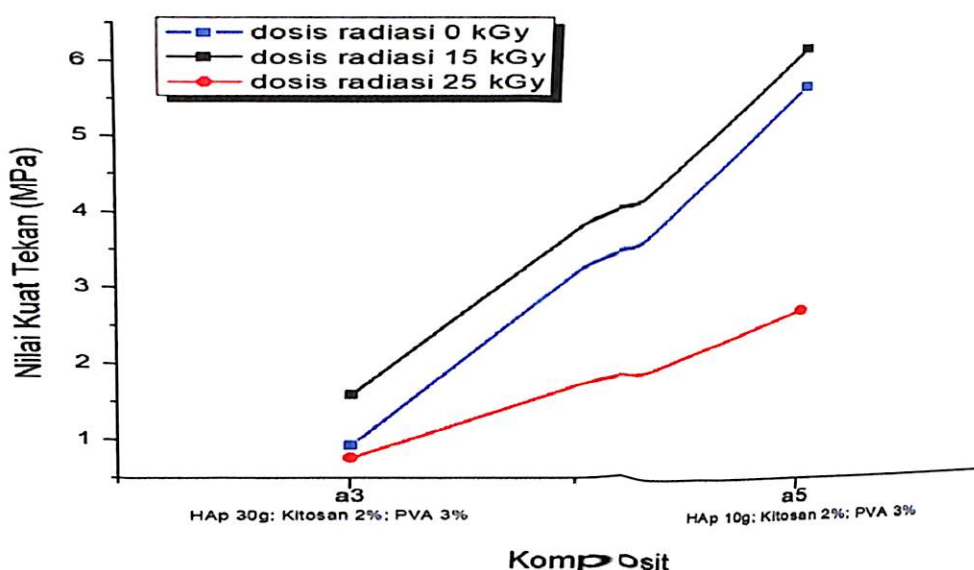
*Universal Testing Machine* (UTM) digunakan untuk mengetahui sifat dan kekuatan mekanik dari sampel komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA). Uji tekan komposit hidroksiapatit-kitosan-polivinil alkohol (PVA) tersebut dilakukan sesuai standar ASTM D695. Sampel yang telah dibuat diharapkan dapat memperbaiki kekuatan mekanik dari campuran untuk mengetahui kemampuan suatu bahan komposit menerima beban tanpa menjadi rusak (Yessy, 2014). Analisa pengujian UTM penelitian ini dibagi kedalam dua variasi, variasi hidroksiapatit dan variasi konsentrasi PVA. Berikut merupakan tabel hasil karakterisasi kekuatan tekan dan modulus young (elastis) dari seluruh sampel komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA.

**Tabel 4.9** Hasil Karakterisasi Uji Kuat Tekan dan Modulus Young Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA

No	Sampel	Radiasi	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Young (MPa)
1	A0	0	1,55	38,16
		15	2,08	45,69
		25	2,34	45,65
2	A1	0	3,92	70,44
		15	3,42	77,43
		25	4,20	72,46
3	A2	0	2,93	36,14
		15	2,71	42,58
		25	2,84	33,74
4	A3	0	0,94	13,20
		15	2,38	30,85
		25	1,34	18,28
5	A4	0	0,86	10,93
		15	1,43	14,02
		25	0,76	10,17
6	A5	0	5,64	38,78
		15	8,03	49,04
		25	3,75	25,10

#### 4.4.1 Analisa Sifat Mekanik Komposit pada Variasi Massa Tulang Sapi

Penggunaan komposisi hidroksiapatit dari tulang sapi menentukan karakteristik komposit yang telah digunakan. Secara visual tulang sapi bersifat getas dan kaku (Yessy, 2015). Variasi hidroksiapatit di tunjukan pada sampel A3 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA) dan A5 (hidroksiapatit 10g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA). Pada gambar 4.9 dibawah menunjukkan perbandingan kuat tekan komposit pada variasi tulang sapi.

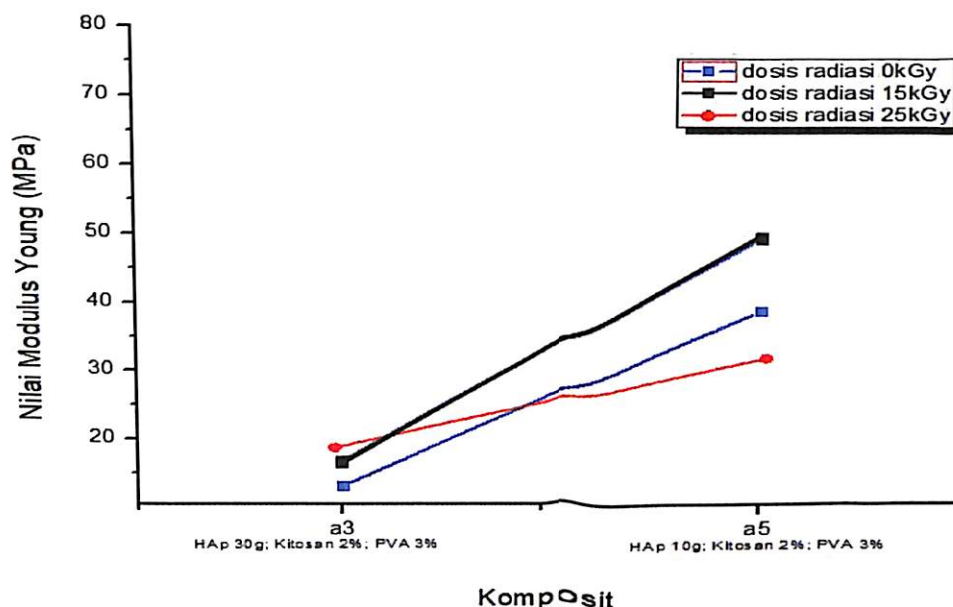


**Gambar 4.9** Perbandingan Kuat Tekan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Variasi Berat Tulang Berdasarkan Radiasi

Terlihat pada grafik 4.9 bahwa penambahan dosis iradiasi gamma dan penambahan berat hidroksiapatit dalam konsentrasi kitosan dan konsentrasi PVA yang sama menghasilkan ketidakstabilan nilai kuat tekan. Dapat diasumsikan penambahan berat hidroksiapatit pada konsentrasi kitosan dan konsentrasi PVA yang sama menghasilkan penurunan nilai kuat tekan scaffold yaitu yang terjadi pada sampel A3 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA). Dapat dilihat pada grafik bahwa sampel A5 (hidroksiapatit 10g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA) radiasi 15 kGy memiliki kuat tekan terbesar pada variasi berat hidroksiapatit yaitu sebesar 8.02741 MPa. Sedangkan, sampel A3 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA)

radiasi 0 kGy memiliki kuat tekan terendah yaitu sebesar 0.939324 MPa.

Karakteristik berikutnya dilihat dari nilai modulus young komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA. Pada gambar 4.10 menjelaskan perbandingan nilai modulus young pada komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA sebagai berikut.



**Gambar 4.10** Perbandingan Nilai Modulus Young Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Variasi Berat Tulang Sapi Berdasarkan Radiasi

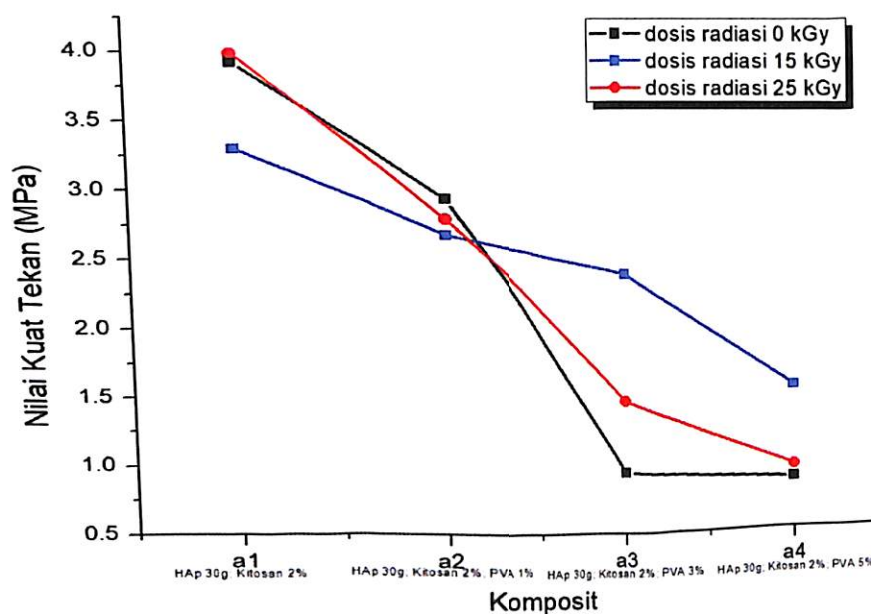
Dari gambar 4.10 dapat dilihat bahwa sampel A5 (hidroksiapatit 10g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA) radiasi 15 kGy memiliki modulus young terbesar dibandingkan sampel A3 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA) yang berarti menghasilkan *scaffold* yang kaku yaitu sebesar 49.03964 MPa. Dan sampel A3 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA) radiasi 0 kGy sebesar 13.19868 MPa memiliki modulus young terkecil yang berarti menghasilkan *scaffold* yang elastis.

Pada kedua grafik terlihat bahwa perubahan dosis radiasi dari 15 kGy ke 25 kGy menurunkan nilai mekanik yaitu kuat tekan dan modulus elastisitas. Pada dosis radiasi 15 kGy lebih tinggi nilai kuat tekan dan nilai modulusnya. Seperti yang dijelaskan oleh Bano (2014) bahwa efek dari radiasi sinar gamma berupa pemutusan rantai, terjadinya ikatan silang atau sama sekali tidak berpengaruh pada beberapa polimer. Pada dosis 25 kGy disebabkan karena pemutusan rantai

hidrogen yang akan menyebabkan berat molekul berubah dan polimer bersifat rapuh dan pada dosis 25 kGy nilai kuat tekan dan elastisitasnya menurun diperkuat dengan penelitian Joon-Pyo (2013) bahwa semakin besar dosis radiasi dapat menurunkan nilai kekuatan mekanik dari biomaterial tersebut.

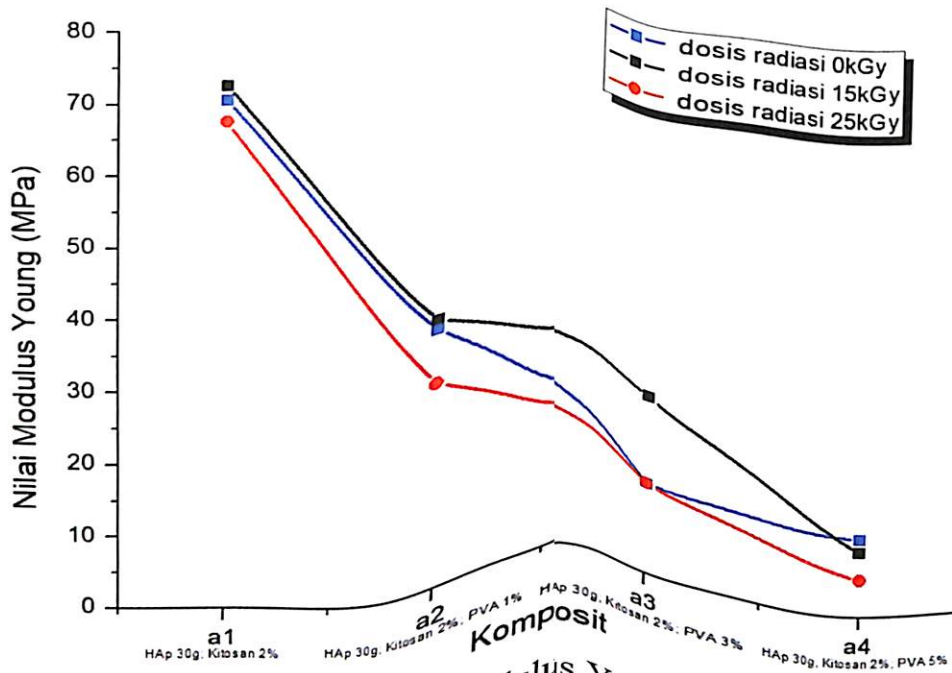
#### 4.4.2 Analisa Sifat Mekanik Komposit pada variasi PVA

Penggunaan komposisi dari PVA menentukan karakteristik komposit yang telah digunakan. Variasi PVA di tunjukan pada sampel A1 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan), A2 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 1% konsentrasi PVA), A3 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 3% konsentrasi PVA) dan A4 (hidroksiapatit 30g; 2% konsentrasi kitosan; 5% konsentrasi PVA). Pada gambar 4.11 dibawah menunjukkan perbandingan kuat tekan komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA pada variasi PVA.



**Gambar 4.11** Perbandingan Kuat Tekan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Variasi PVA Berdasarkan Radiasi

Dari gambar 4.11 dapat dilihat dengan penambahan konsentrasi PVA dan penambahan dosis iradiasi gamma menghasilkan penurunan nilai kuat tekan. Pada gambar 4.12 dibawah menunjukkan tekanan kompaksi komposit pada variasi PVA.



**Gambar 4.12** Perbandingan Nilai Modulus Young Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA Variasi PVA Berdasarkan Radiasi

Pada grafik perbandingan nilai modulus young variasi PVA berdasarkan radiasi menunjukkan semakin bertambahnya jumlah konsentrasi PVA, nilai modulus young semakin kecil hal tersebut diperkuat dari penelitian Yessy dkk, (2014). Bahwa semakin kecil nilai modulus young dari sampel pada radiasi 15 kGy dan 25 kGy semakin banyak konsentrasi PVA nilai modulus young semakin menurun. Dan pengaruh radiasi terhadap sifat mekanik dari sampel banyak konsentrasi PVA nilai modulus young semakin menurun. Tetapi pada radiasi 25 kGy nilai modulus young mengalami ketidakstabilan diperkuat dengan penelitian Rekso (2012).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil yaitu:

- 1 Sifat kimia dengan parameter meliputi gugus fungsi variasi hidroksiapatit dan konsentrasi PVA tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap gugus fungsi pada komposit. Sedangkan, sifat mekanik nilai kuat tekan tertinggi komposit hidroksiapatit 10g; kitosan 2%; PVA 3% sebesar 3,7473 – 8,02741 MPa, nilai modulus young untuk komposit hidroksiapatit 30g; kitosan 2%; PVA 5% sebesar 10,17049 – 14,01828 MPa. Sifat fisika dengan parameter morfologi permukaan menunjukkan perubahan pada nilai diameter pori komposit pada massa hidroksiapatit 30g; kitosan 2%; PVA 3% menghasilkan nilai rentang pori sebesar 1,429  $\mu\text{m}$  – 2,725  $\mu\text{m}$
- 2 Kenaikan dosis radiasi terhadap sifat kimia dengan parameter meliputi gugus fungsi tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap gugus fungsi pada komposit, sedangkan kenaikan dosis radiasi terhadap sifat mekanik mengakibatkan menurunnya nilai kuat tekan dan nilai modulus young

#### 5.2 Saran

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian ini:

1. Proses pencetakan sampel komposit hidroksiapatit-kitosan-PVA untuk uji tekan harus dipastikan memadati seluruh isi cetakan sehingga tidak ada rongga.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait bioaktivitas, biodegradabilitas dan toksisitas behubungan sampel akan diaplikasikan di dalam tubuh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barakat, N., Khalil, K,A., Faheem A. Sheikh., AM. Omran., Babitha, Ghair., Soeb M, Khil., Hak Yon Kim., “*Physiochemical characterizations of hydroxyapatite extracted from bovine bones by three different methods: Extraction of biologically desirable Hap*”, *Materials Science and Engineering C*, 28,1381–1387), 2008.
- Betancur A.LG, Espinosa-Arbelaez., A, del Real-Lopez., B.M, Millan Malo., E.M, Rivera-Muñoz., E, Gutierrez-Cortez., Jimenez-Sandocal., M,E, Rodriguez- García., “*Comparison of physicochemical properties of bio and commercial Hydroxyapatite*”, *Current Applied Physics*, 13,1383 – 1390., 2013.
- Bona,I., Ghauria,M.A., Yasin,T., “*Characterization and potential applications of gamma irradiated chitosan and its blends with poly(vinyl alcohol)*”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014.
- Bonilla J., E. Fortunati., L. Atarés., A. Chiralt., Kenny,J.M., “*Physical, structural and antimicrobial properties of poly vinyl alcohol chitosan biodegradable films*”, *Food Hydrocolloids*, 35, 463-470, 2014.
- Dutta, Pradip K., Dutta Joydeep, Tripathi, V.S., “*Chitin and Chitosan: Chemistry, properties and application*”, *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 63, p. 20-31, 2004
- Ellingham., Sarah TD, Thompson., Tim JU, Islam., Meez, “*Scanning Elctron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM/EDX): A Rapid Diagnostic Tool to Aid the Identification of Burnt Bone and Contested Cremains*”, *Journal of Forensic Science*, 2007.
- Gauglitz, G., Dinh T.Vo, “*Handbook of Spectroscopy*”, WILEY-V CH, Weinheim, 2003

Istifarah, "Sintesis Dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit Dari Tulang Sotong (Sepia Sp.)-Kitosan Untuk Kandidat Aplikasi *Bone Filler*", Tesis, Universitas Airlangga, Surabaya, 2012.

Joon-Pyo., Jeun, Young-Kyou., Jeon, Young-Chang., Nho, Phil-Hyun., Kang, "Effects of gamma irradiation on the thermal and mechanical properties of chitosan/PVA nanofibrous mats", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2009

Muppalaneni, Srinath., Omidian, Hossein, "Polyvinyl Alcohol in Medicine and Pharmacy: A Perspective", Nova Southeastern University, USA, 2013

Pokhrel, Shanta, Yadav, P.N., Adhikari, Rameshwar, "Application of Chitin and Chitosan in Industry and Medical Science: A Review", *Nepal Journal of Science and Technology* Vol. 16, p. 99-104, 2015

Pramanik, N., Mishra, D., Banerjee, I., Maiti, T.K., Bhargava, P., Pramanik, P., "Chemical Synthesis, Characterization, and Biocompatibility Study of Hydroxyapatite/Chitosan Phosphate Nanocomposite for Bone Tissue Engineering Applications", *International Journal of Biomaterials*, India, 2009.

Rekso, Gatot Trimulyadi., "Pengaruh Dosis Iradiasi Terhadap Sifat Fisik-Kimia Membran Km-Kitosan Akrilat Sebagai Bahan *Fuel Cell*", Pusat Aplikasi Teknologi Isotop Dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, 2012.

Shah, Vishu, "handbook of plastics testing and failure analysis", John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2007

Stuart, Barbara, "Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications", John Wiley & Sons. Ltd, 2004

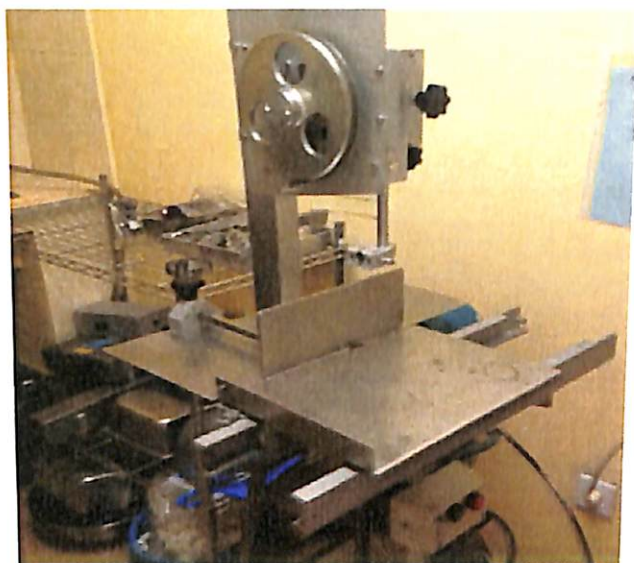
Wang., Ru Min, Shui Rong Zheng, Ya Ping Zheng, "*Polymer Matrix Composites and Technology*", Woodhead, Philadelphia, 2011

Yessy, Warastuti., Emil, Budianto., Darmawan., "Sintesis Dan Karakterisasi Membran Komposit Hidroksiapatit Tulang Sapi-Khitosan-Poli(Vinil Alkohol) Untuk Aplikasi Biomaterial", *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 2014.

Zhang., Li, Yubao., Li, Aiping., Yang, Xuelin., Peng, XueJiang., Wang, Xiang., Zhang, "*Preparation an in vitro investigation of chitosan/nano-hydroxyapatite composite used as bone substitute materials*", *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2015.

Zhuang, P.Y., Li, Y,L., Fan, Li., Lin, Jun., Hu, Q,L., "*Modification of Chitosan membrane with poly-vinyl alcohol and biocompatibility evaluation*", *International Journal of Biological Macromolecules*, 50,658-663, 2012.

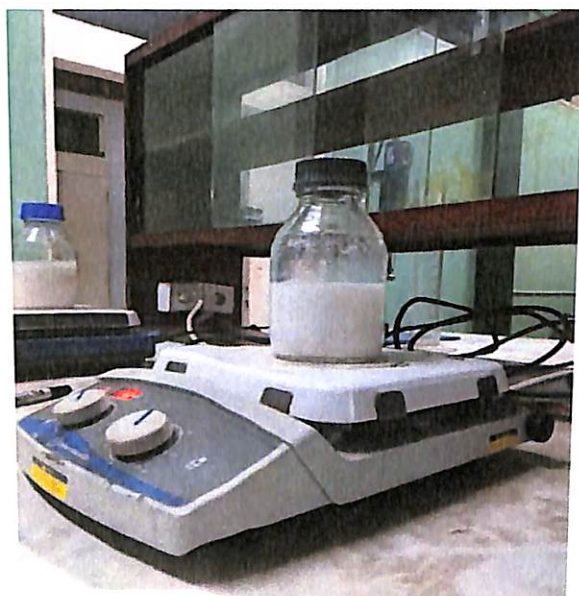
LAMPIRAN A  
GAMBAR ALAT YANG DIGUNAKAN



*Bone Saw Machine*



*Autoclave*

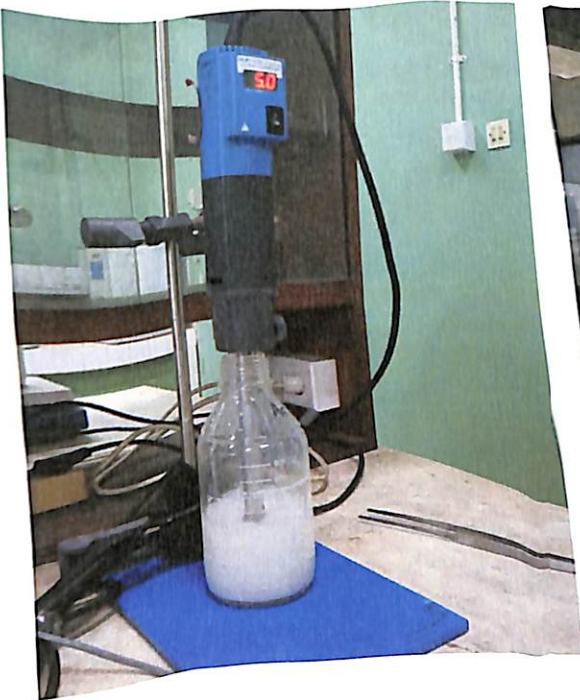


*Maghnetic Termostirrer*



*Vacuum Pump*

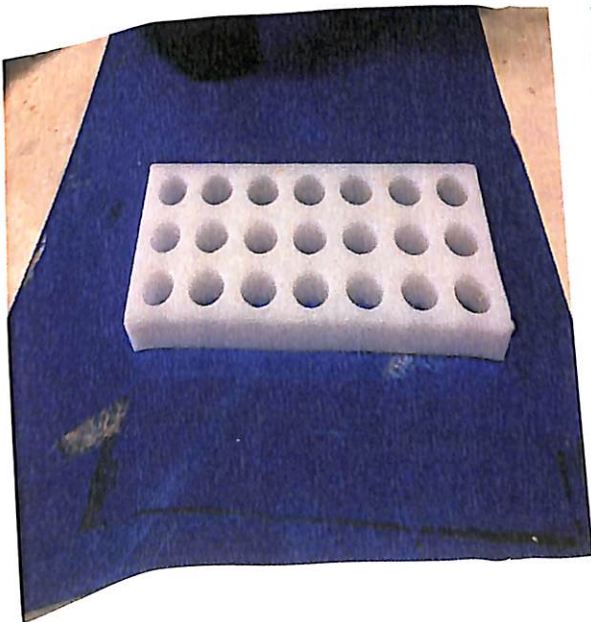
MILIK PERPUSTAKAAN STMI  
Membaca : Ibadah, Mengambil : Dosa



*Homogenizer*



*Oven*



*Alat Pencetak Scaffold*



*Micrometer*



*Gammacell 220*



*Fourier Transform Infra Red*



*Universal Testing Machine*

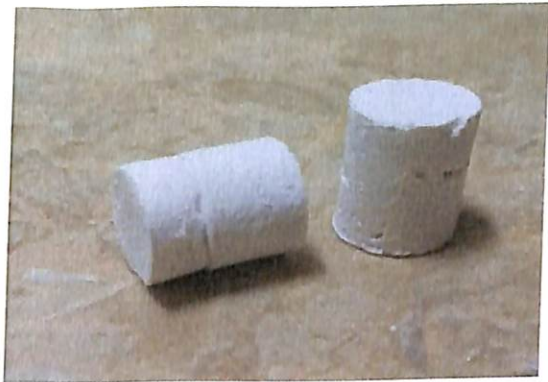
*Scanning Electron Microscope*

## LAMPIRAN B

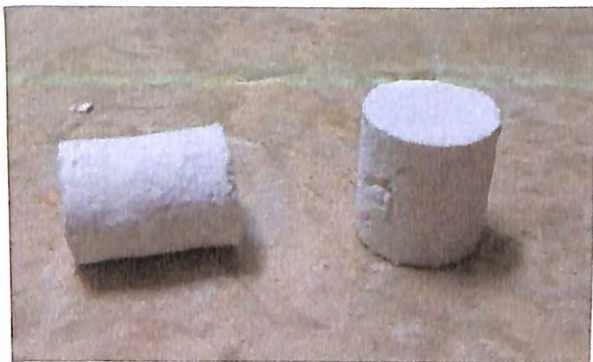
### GAMBAR SCAFFOLD SELURUH SAMPEL KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT-KITOSAN-PVA



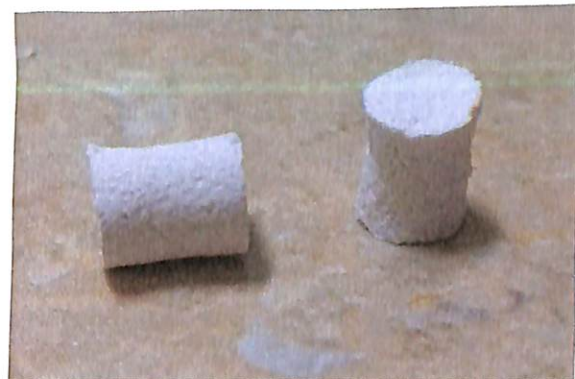
Sampel A0 (30 g tulang korteks sapi)



Sampel A1 (30 g tulang korteks sapi; 2 g kitosan)



Sampel A2 (30 g tulang korteks sapi; 2 g kitosan)



Sampel A3 (30 g tulang korteks sapi; 2 g kitosan; 3 g PVA)



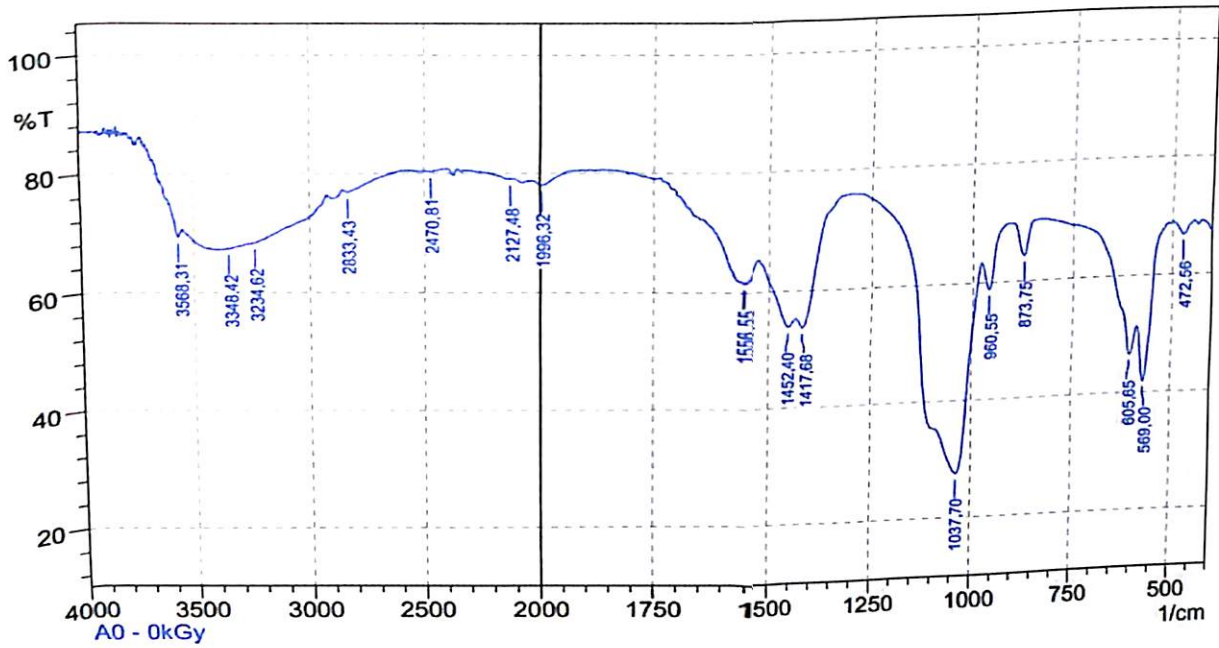
Sampel A4 (30 g tulang korteks sapi; 2 g kitosan; 5 g PVA)



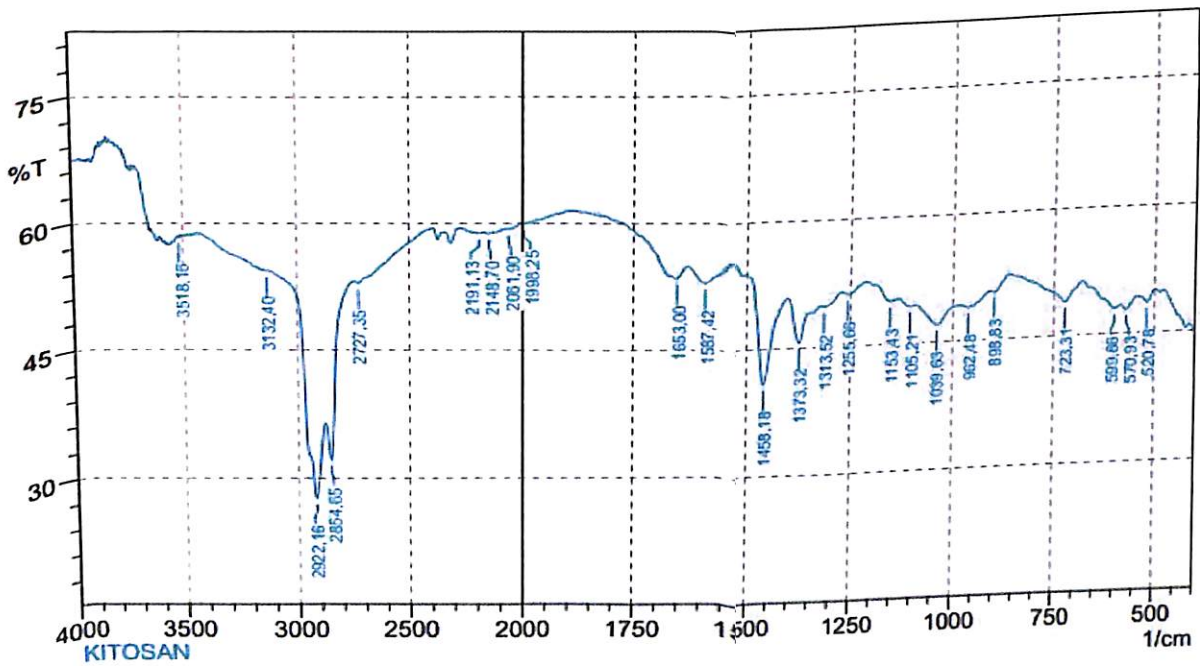
Sampel A5 (10 g tulang korteks sapi; 2 g kitosan; 3 g PVA)

## LAMPIRAN C

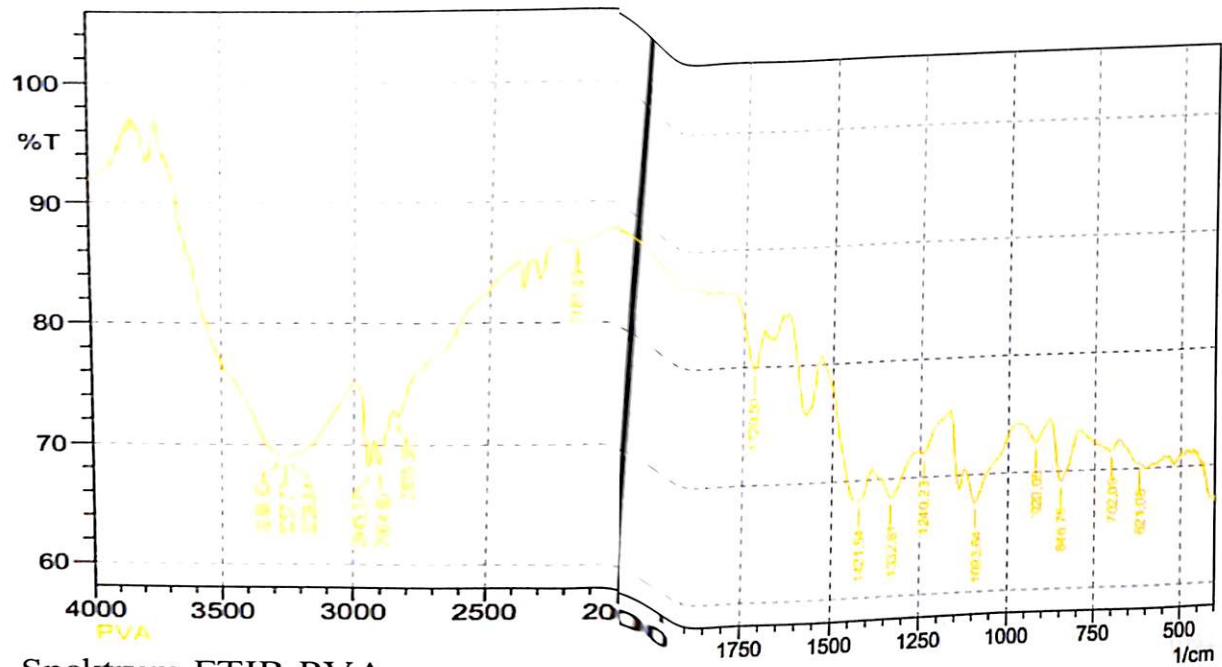
### GAMBAR SPEKTRUM FTIR



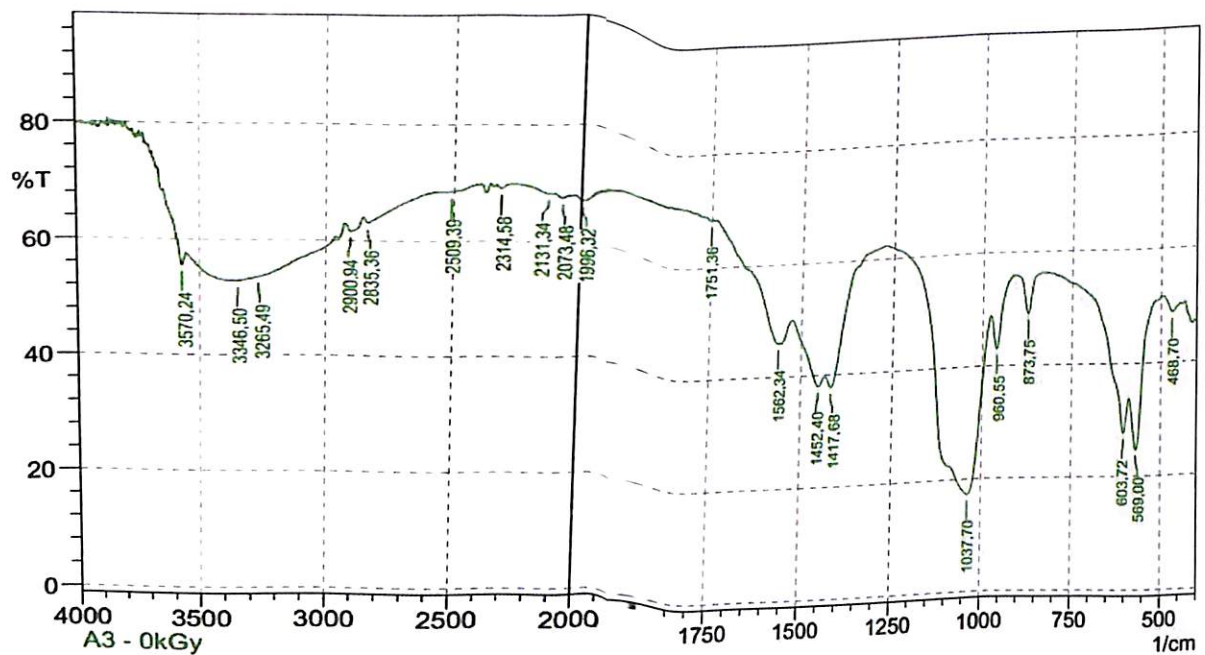
Spektrum FTIR Hidroksiapatit



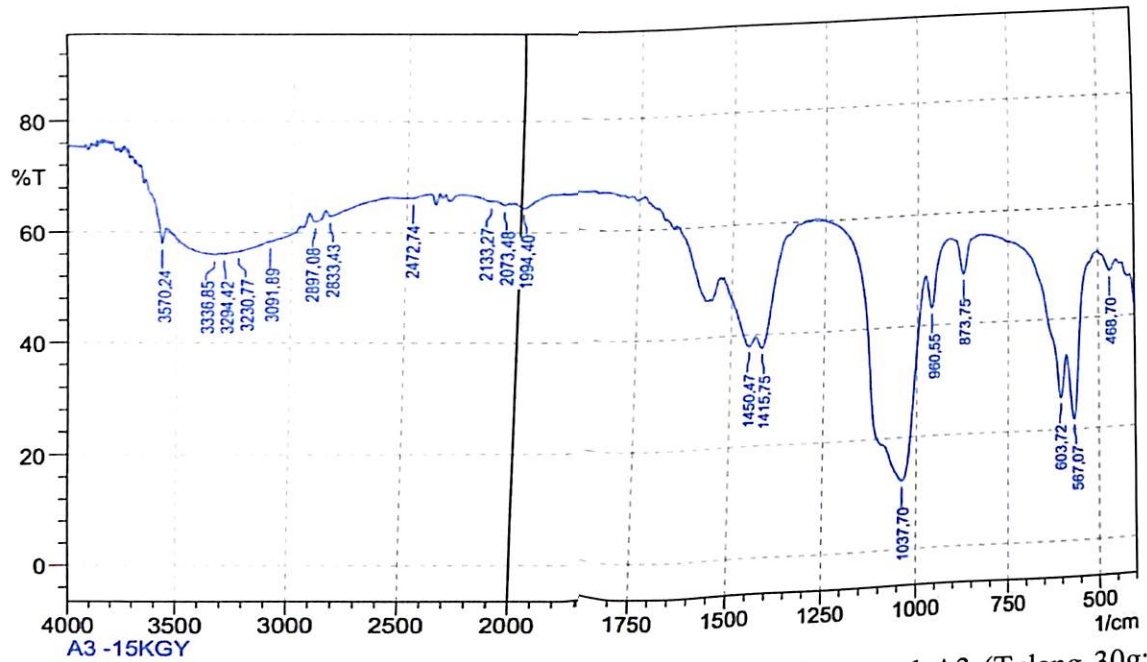
Spektrum FTIR Kitosan



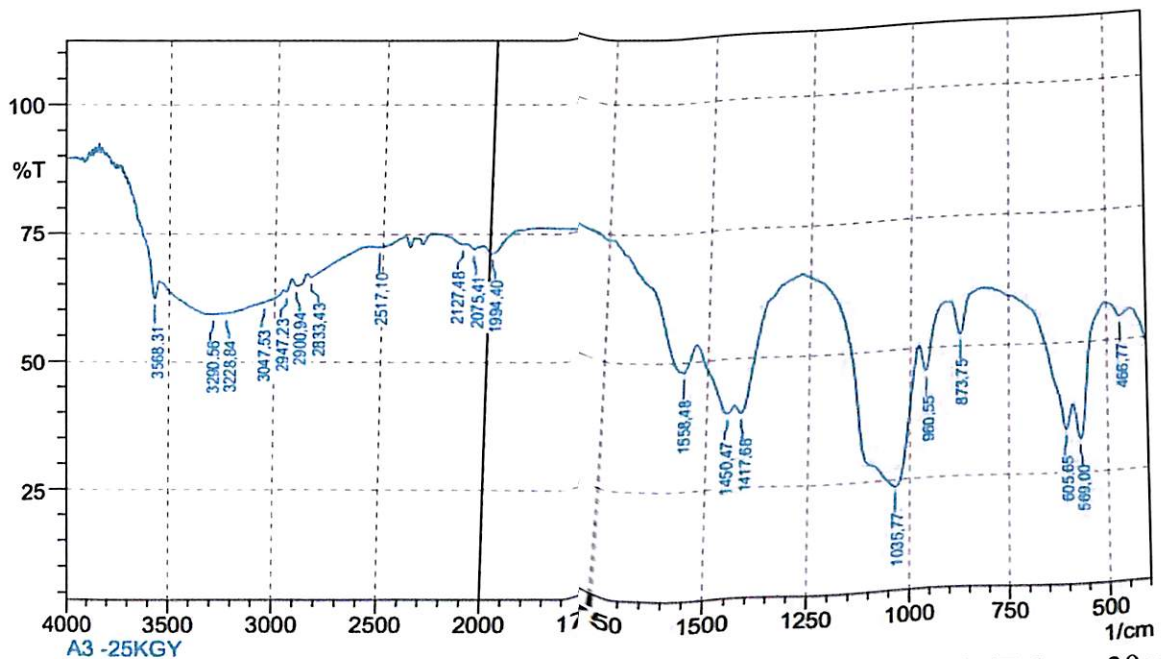
Spektrum FTIR PVA



Spektrum FTIR Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA sampel A3 (Tulang 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) pada radiasi 0 kGy



Spektrum FTIR Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA sampel A3 (Tulang 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) pada radiasi 15 kGy



Spektrum FTIR Komposit Hidroksiapatit-Kitosan-PVA sampel A3 (Tulang 30g; Kitosan 2%; PVA 3%) pada radiasi 25 kGy

## LAMPIRAN D

### HASIL UJI KUAT TEKAN DAN MODULUS YOUNG

Sampel	Radiasi (kGy)	Spesimen	Kekuatan Tekan (MPa)	Rata-rata	Modulus Young (MPa)	Rata-rata
A0	0	1	1.93028	1.553834	38.6423	38.1648
		2	1.63599		37.9967	
		3	1.47251		35.1203	
		4	1.36147		39.9152	
		5	1.36892		39.1495	
	15	1	1.63476	2.076416	30.8114	45.68816
		2	2.31905		30.5431	
		3	1.97292		56.3597	
		4	2.11928		56.2098	
		5	2.33607		54.5168	
	25	1	1.51084	2.336874	20.375	45.65006
		2	2.26309		61.1089	
		3	2.33716		61.6881	
		4	2.71685		27.4872	
		5	2.85643		57.5911	
Sampel	Radiasi (kGy)	Spesimen	Kekuatan Tekan (MPa)	Rata-rata	Modulus Young (MPa)	Rata-rata
A1	0	1	3.25623	3.915186	69.9837	70.44106
		2	4.46302		70.608	
		3	3.65829		66.9731	
		4	2.95174		73.7932	
		5	5.24665		70.8473	
	15	1	4.50986	3.41906	71.1302	77.43226
		2	3.81057		100.817	
		3	2.62881		70.8432	
		4	2.91779		73.2314	
		5	3.22827		71.1395	
	25	1	4.57174	4.196696	83.6873	72.46162
		2	4.05138		79.5585	
		3	4.25634		67.2745	
		4	4.00458		66.5072	
		5	4.09944		65.2806	

Sampel	Radiasi (kGy)	Spesimen	Kekuatan Tekan (MPa)	Rata-rata	Modulus Young (MPa)	Rata-rata
A2	0	1	2.97995	2.924856	36.4463	36.14436
		2	2.77917		35.8277	
		3	3.05515		37.4495	
		4	2.50147		33.7598	
		5	3.30854		37.2385	
	15	1	2.13871	2.70521	49.7767	42.58118
		2	2.47797		37.2842	
		3	3.33371		48.2073	
		4	2.78668		35.6102	
		5	2.78898		42.0275	
	25	1	2.74006	2.83943	35.6435	33.7361
		2	3.0046		32.9394	
		3	2.80951		30.2802	
		4	2.3174		32.3102	
		5	3.32558		37.5072	

Sampel	Radiasi (kGy)	Spesimen	Kekuatan Tekan (MPa)	Rata-rata	Modulus Young (MPa)	Rata-rata
A3	0	1	0.87401	0.939324	11.5199	13.19868
		2	1.0957		13.0387	
		3	0.8613		12.1129	
		4	0.94829		14.2179	
		5	0.91732		15.104	
	15	1	2.81029	2.380548	29.6353	30.8512
		2	2.06202		32.8811	
		3	2.55092		31.3739	
		4	1.99001		26.491	
		5	2.4895		33.8747	
	25	1	1.06623	1.344774	18.0984	18.27936
		2	1.90114		19.5461	
		3	0.93751		17.9515	
		4	1.22386		17.2605	
		5	1.59513		18.5403	

Sampel	Radiasi (kGy)	Spesimen	Kekuatan Tekan (MPa)	Rata-rata	Modulus Young (MPa)	Rata-rata
A4	0	1	0.76825	0.857424	10.6865	10.929
		2	0.91976		10.4101	
		3	1.07459		10.2721	
		4	0.7692		11.7856	
		5	0.75532		11.4907	
	15	1	1.73107	1.434978	10.0808	14.01828
		2	1.58839		14.4637	
		3	0.83387		16.9781	
		4	0.84272		16.5955	
		5	2.17884		11.9733	
	25	1	1.09278	0.75983	7.56486	10.17049
		2	0.44507		8.4102	
		3	0.6667		12.3943	
		4	0.81585		10.9447	
		5	0.77875		11.5384	

Sampel	Radiasi (kGy)	Spesimen	Kekuatan Tekan (MPa)	Rata-rata	Modulus Young (MPa)	Rata-rata
A5	0	1	6.56659	5.63619	40.1523	38.776
		2	3.54459		38.1449	
		3	5.34982		37.983	
		4	6.18829		38.0931	
		5	6.53166		39.5067	
	15	1	9.08589	8.02741	44.8658	49.03964
		2	6.76372		44.2966	
		3	8.37299		55.2227	
		4	8.62369		51.3102	
		5	7.29076		49.5029	
	25	1	3.83502	3.747338	26.4049	25.09874
		2	3.02824		31.1369	
		3	4.57755		23.5121	
		4	4.88294		22.986	
		5	2.41294		21.4538	