

**TUGAS AKHIR - TL 184834**

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN NANOSELULOSA  
TERHADAP MORFOLOGI, SIFAT TERMAL DAN  
MEKANIK PADA KOMPOSIT POLIURETAN DENGAN  
*FILLER* BARIUM HEKSAFERIT**

**ANDIYANA ILHAM WAHYUDI**  
NRP 02511840000007

Dosen Pembimbing  
**Ir. Moh. Farid, DEA**  
NIP 195709241986031002  
**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T**  
NIP 198805012019031008

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**TUGAS AKHIR - TL 184834**

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN NANOSELULOSA  
TERHADAP MORFOLOGI, SIFAT TERMAL DAN  
MEKANIK PADA KOMPOSIT POLIURETAN DENGAN  
*FILLER* BARIUM HEKSAFERIT**

**ANDIYANA ILHAM WAHYUDI**  
NRP 0251184000007

Dosen Pembimbing  
**Ir. Moh. Farid, DEA**  
NIP 195709241986031002  
**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T**  
NIP 198805012019031008

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL 184834**

**ANALISYS THE EFFECT OF NANOCELLULOSE ADDITION  
ON THE MORPHOLOGY, THERMAL AND MECHANICAL  
PROPERTIES OF POLYURETHANE COMPOSITE WITH  
BARIUM HEXAFFERITE FILLER**

**ANDIYANA ILHAM WAHYUDI**  
NRP 02511840000007

Advisor

**Ir. Moh. Farid, DEA**

NIP 195709241986031002

**Mavindra Ramadhani, S.T., M.T**

NIP 198805012019031008

**Study Program of Materials Engineering**

Departement of Materials and Metallurgical Engineering

Faculty of Industrial Techonology and Systems Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

*(This page is intentionally blank)*

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN NANOSULOSA TERHADAP MORFOLOGI, SIFAT TERMAL DAN MEKANIK PADA KOMPOSIT POLIURETAN DENGAN *FILLER* BARIUM HEKSAFFERIT

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Material  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: ANDIYANA ILHAM WAHYUDI

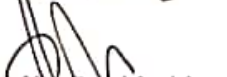
NRP. 0251184000007

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

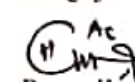
1. Ir. Moh. Farid, DEA
2. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.
3. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
4. Hanifuddin Nurdiansah, S.T., M.T.



  
Pembimbing

  
Ko-Pembimbing

  
Penguji

  
Penguji

SURABAYA

Juli, 2022

# APPROVAL SHEET

## ANALYSIS THE EFFECT OF NANOCELLULOSE ADDITION ON THE MORPHOLOGY, THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYURETHANE COMPOSITES WITH BARIUM HEXAFERRITE FILLER

### FINAL PROJECT

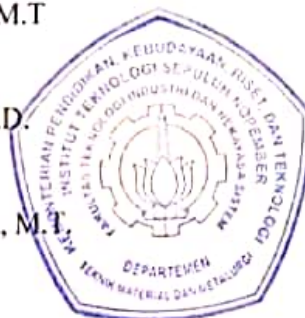
Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a degree of bachelor of engineering at  
Undergraduate Study Program of Materials Engineering  
Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


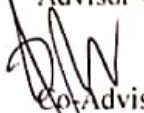
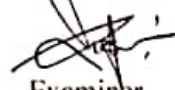
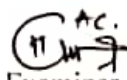
By: ANDIYANA ILHAM WAHYUDI

NRP. 0251184000007

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Ir. Moh. Farid, DEA
2. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T
3. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
4. Hanifuddin Nurdiansah, S.T., M.T



  
Advisor  
  
Co-Advisor  
  
Examiner  
  
Examiner

SURABAYA

July, 2022



## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama mahasiswa / NRP : Andiyana Ilham Wahyudi / 0251184000007  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Moh. Farid, DEA / 195709241986031002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN NANOSSELULOSA TERHADAP MORFOLOGI, SIFAT TERMAL DAN MEKANIK PADA KOMPOSIT POLIURETAN DENGAN *FILLER* BARIUM HEKSAFERIT” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25 Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



(Ir. Moh. Farid, DEA)  
NIP. 195709241986031002

Mahasiswa



(Andiyana Ilham Wahyudi)  
NRP. 0251184000007

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below :

Name of student / NRP : Andiyana Ilham Wahyudi / 0251184000007  
Departement : Materials and Metallurgy Engineering FTIRS-ITS  
Advisor / NIP : Ir. Moh. Farid, DEA / 195709241986031002

hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS THE EFFECT OF NANOCELLULOSE ADDITION ON THE MORPHOLOGY, THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYURETHANE COMPOSITES WITH BARIUM HEXAFERRITE FILLER" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25<sup>th</sup> July 2022

Acknowledged  
Advisor



(Ir. Moh. Farid, DEA)  
NIP. 195709241986031002

Student



(Andiyana Ilham Wahyudi)  
NRP. 0251184000007

# ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN NANOSELULOSA TERHADAP MORFOLOGI, SIFAT TERMAL DAN MEKANIK PADA KOMPOSIT POLIURETAN DENGAN *FILLER* BARIUM HEKSAFFERIT

Nama Mahasiswa / NRP : Andiyana Ilham Wahyudi / 0251184000007  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS  
Dosen Pembimbing 1 : Ir. Moh. Farid, DEA  
Dosen Pembimbing 2 : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

## Abstrak

Poliuretan merupakan salah satu polimer yang sering digunakan karena sangat mudah untuk dibentuk dan di manufaktur. Poliuretan memiliki densitas yang cukup tinggi dibanding polimer lainnya. Nanoselulosa sebagai *filler* memiliki kecenderungan untuk membentuk pori, meningkatkan sifat mekanik dan termal pada material komposit. Sedangkan Barium Heksaferit merupakan alat untuk menyerap gelombang radar dengan baik. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh penambahan nanoselulosa pada komposit poliuretan dengan *filler* barium heksaferit terhadap morfologi, sifat termal dan mekanik. Material komposit dalam penelitian ini menggunakan matrik poliuretan, *filler* nanoselulosa dan barium heksaferit. Variabel *filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah fraksi massa nanoselulosa yaitu 10% dan 15% serta fraksi massa barium heksaferit yaitu 10%. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi Pengujian Digital Mikroskop (DM), Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), Pengujian *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), Pengujian Densitas, Pengujian *Flame Retardant*, dan Pengujian *Hardness*. Berdasarkan hasil Pengujian Digital Mikroskop terlihat bahwa penambahan nanoselulosa meningkatkan nilai porositas dan bentuk pori yang menjadi tidak seragam. Variasi komposit dengan penambahan 15% nanoselulosa menghasilkan densitas terendah dibanding variasi lainnya yaitu sebesar 1,1053 gr/cm<sup>3</sup>. Penambahan nanoselulosa juga menyebabkan turunnya laju bakar terendah pada komposit 15% sebesar 0,45 mm/s dan meningkatnya nilai *hardness* tertinggi pada komposit 15% sebesar 19,33 D.

**Kata Kunci:** Barium Heksaferit, *Hardness*, Komposit, Nanoselulosa, dan Poliuretan

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **ANALYSIS THE EFFECT OF NANOCELLULOSE ADDITION ON THE MORPHOLOGY, THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYURETHANE COMPOSITES WITH BARIUM HEXAFFERITE FILLER**

**Student Name / NRP: Andiyana Ilham Wahyudi / 0251184000007**

**Departement : Materials and Metallurgical Engineering FTIRS – ITS**

**Advisors : Ir. Moh. Farid, DEA**

**Co-Advisors : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T**

## **Abstract**

Polyurethane is one of the polymers that is often used because it is very easy to form and manufacture. Polyurethane has a fairly high density compared to other polymers. Nanocellulose as a filler has a tendency to form pores, increasing the mechanical and thermal properties of the composite material. While Barium Hexaferrite is a tool to absorb radar waves well. The purpose of this study was to analyze the effect of adding nanocellulose to polyurethane composites with barium hexaferrite filler on morphology, thermal and mechanical properties. The composite material in this study used a polyurethane matrix, nanocellulose filler and barium hexaferrite. The filler variables used in this study were the mass fraction of nanocellulose, namely 10% and 15%, and the mass fraction of barium hexaferrite was 10%. Tests carried out in this study include Digital Microscope (DM) Testing, X-Ray Diffraction (XRD) Testing, Fourier Transform Infra Red (FTIR) Testing, Density Testing, Flame Retardant Testing, and Hardness Testing. Based on Digital Microscope Testing, it can be seen that the addition of nanocellulose increases the porosity value and the pore shape becomes non-uniform. The composite variation with the addition of 15% nanocellulose produced the lowest density compared to other variations, which was 1.1053 gr/cm<sup>3</sup>. The addition of nanocellulose also caused the lowest burn rate to decrease in the 15% composite at 0.45 mm/s and the highest hardness value to the 15% composite at 19.33 D.

**Keywords : *Barium Hexaferrite Composite, Hardness, Nanocellulose and Polyurethane***

*(This page is intentionally blank)*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas berkat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Alhasil penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir berjudul “Analisis Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Morfologi, Sifat Termal dan Mekanik pada Komposit Poliuretan dengan *Filler* Barium Heksafferit” dengan lancar tanpa halangan dan hambatan yang berarti. Hal ini tidak luput dari dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA dan Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir
2. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng)., Ph.D., selaku dosen wali yang memberikan arahan selama masa perkuliahan.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
4. Bapak/Ibu dosen dan tenaga pendidik yang telah membimbing, memberikan ilmu, dan memberikan bantuan selama masa perkuliahan.
5. Orang tua, keluarga, dan sahabat penulis yang selalu memberikan dukungan dan do'a.

Penulis menyadari bahwa penelitian tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk kehidupan manusia kedepannya.

Surabaya, 25 Juli 2022  
Penulis

Andiyana Ilham Wahyudi  
NRP. 0251184000011

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
APPROVAL SHEET.....	ix
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	xi
STATEMENT OF ORIGINALITY.....	xiii
Abstrak.....	xv
<i>Abstract</i> .....	xvii
KATA PENGANTAR.....	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR TABEL.....	xxv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Hasil Penelitian Terdahulu.....	3
2.2. Teori Dasar.....	5
2.2.1. Pengertian Komposit.....	5
2.2.2. Klasifikasi Komposit.....	6
2.2.3. Matriks.....	8
2.2.4. Bahan Penguat ( <i>Reinforcement</i> ).....	8
2.2.5. Nanoselulosa.....	9
2.2.6. Poliuretan.....	10
2.2.7. Barium M-Heksaferit (BaM).....	11
2.2.8. <i>Flame Retardant</i> .....	13
2.2.9. Sifat Mekanik.....	14
2.2.10. Hukum Pencampuran.....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Diagram Alir.....	17
3.1.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.1.2 Sintetis Barium Heksaferit.....	18
3.2 Metode Penelitian.....	18
3.2.1 Persiapan Bahan.....	18
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	20
3.3.1 Peralatan Penelitian.....	20
3.3.2 Bahan Penelitian.....	24
3.4 Pengujian yang Dilakukan.....	26
3.4.1 Pengujian Mikroskop Digital.....	26
3.4.2 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	26
3.4.3 Pengujian Densitas.....	27
3.4.4 Pengujian <i>Forier Transform Spectroscopy</i> (FTIR).....	27
3.4.5 Pengujian <i>Hardness</i> .....	28
3.4.6 Pengujian Tahan Bakar ( <i>Flame Retardant</i> ).....	29

<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
4.1. Hasil Pengujian Mikroskop Digital.....	31
4.2. Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Barium M-Heksaferit.....	34
4.3. Hasil Pengujian Densitas .....	37
4.4. Hasil Pengujian <i>Forier Transform Spectroscopy</i> (FTIR) .....	39
4.5. Hasil Pengujian <i>Hardness</i> .....	43
4.6. Hasil Pengujian <i>Flame Retardant</i> .....	44
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>49</b>
5.1. Kesimpulan .....	49
5.2. Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>55</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>73</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Struktur Hubungan Antar Material .....	6
<b>Gambar 2. 2</b>	Fasa-fasa dalam Komposit .....	7
<b>Gambar 2. 3</b>	Struktur Hierarki Selulosa.....	9
<b>Gambar 2. 4</b>	Ikatan Uretan dan Reaksi Pembentukan Poliuretan .....	10
<b>Gambar 2. 5</b>	Struktur Kristal Barium M-Heksaferit .....	12
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	17
<b>Gambar 3. 2</b>	Diagram Alir Sintetis Barium Heksaferit.....	18
<b>Gambar 3. 3</b>	Hasil Pembuatan Komposit Poliuretan/Nanoselulosa/Barium Heksaferit .....	19
<b>Gambar 3. 4</b>	Cetakan Spesimen .....	20
<b>Gambar 3. 5</b>	Timbangan Digital .....	20
<b>Gambar 3. 6</b>	<i>Planetary Ball Milling</i> .....	20
<b>Gambar 3. 7</b>	Gelas <i>Beaker</i> .....	21
<b>Gambar 3. 8</b>	Aluminium Foil.....	21
<b>Gambar 3. 9</b>	<i>Hot Plate and Stirrer</i> .....	21
<b>Gambar 3. 10</b>	Alat Uji FTIR .....	22
<b>Gambar 3. 11</b>	Alat Uji <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	22
<b>Gambar 3. 12</b>	Alat Uji Densitas .....	22
<b>Gambar 3. 13</b>	Alat Uji Digital Mikroskop .....	23
<b>Gambar 3. 14</b>	Alat Uji <i>Flame Retardant</i> .....	23
<b>Gambar 3. 15</b>	Alat Uji Kekerasan .....	23
<b>Gambar 3. 16</b>	<i>Vacuum Furnace</i> .....	24
<b>Gambar 3. 17</b>	Nanoselulosa .....	24
<b>Gambar 3. 18</b>	PU A dan PU B .....	24
<b>Gambar 3. 19</b>	BaCO <sub>3</sub> .....	25
<b>Gambar 3. 20</b>	Serbuk Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	25
<b>Gambar 3. 21</b>	Serbuk Zn.....	25
<b>Gambar 3. 22</b>	Alkohol.....	26
<b>Gambar 3. 23</b>	Skema Uji FTIR .....	28
<b>Gambar 3. 24</b>	Rangkaian Pengujian Tahan Bakar .....	29
<b>Gambar 4. 1</b>	Hasil Uji Digital Mikroskop dari (a) PU Murni, (b) Variasi Nanoselulosa 0% + BaM 10%, (c) Variasi Nanoselulosa 10% + BaM 10%, (d) Variasi Nanoselulosa 15% + BaM 10% .....	31
<b>Gambar 4. 2</b>	Hasil <i>ImageJ</i> Uji Digital Mikroskop dari (a) PU Murni, (b) Variasi Nanoselulosa 0% + BaM 10%, (c) Variasi Nanoselulosa 10% + BaM 10%, (d) Variasi Nanoselulosa 15% + BaM 10% .....	32
<b>Gambar 4. 3</b>	Grafik Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Area Porositas Komposit .....	33
<b>Gambar 4. 4</b>	Regresi <i>Linear</i> Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Area Porositas .....	34
<b>Gambar 4. 5</b>	Pola XRD Barium M-Heksaferit Dopping Zn .....	34
<b>Gambar 4. 6</b>	Gambar Hasil Uji XRD dari Variasi Nanoselulosa 0% + BaM 10%.....	35
<b>Gambar 4. 7</b>	Gambar Hasil Uji XRD dari Variasi Nanoselulosa 10% + BaM 10%.....	36
<b>Gambar 4. 8</b>	Gambar Hasil Uji XRD dari Variasi Nanoselulosa 15% + BaM 10%.....	37
<b>Gambar 4. 9</b>	Grafik Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Densitas Komposit.....	38
<b>Gambar 4. 10</b>	Regresi <i>Linear</i> Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Densitas Komposit .....	39
<b>Gambar 4. 11</b>	Representasi Ikatan dari Poliuretan Murni.....	40

<b>Gambar 4. 12</b> Representasi Ikatan dari Komposit Poliuretan <i>filler</i> Barium M-Heksaferit 10% .....	40
<b>Gambar 4. 13</b> Representasi Ikatan dari Komposit Poliuretan <i>filler</i> Barium M-Heksaferit 10% dengan penambahan Nanoselulosa 10% .....	41
<b>Gambar 4. 14</b> Representasi Ikatan dari Komposit Poliuretan <i>filler</i> Barium M-Heksaferit 10% dengan penambahan Nanoselulosa 15% .....	42
<b>Gambar 4. 15</b> Grafik Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Hardness .....	43
<b>Gambar 4. 16</b> Spesimen <i>Flame Retardant</i> .....	44
<b>Gambar 4. 17</b> Pengujian <i>Flame Retardant</i> dari (a) PU Murni, (b) Variasi Nanoselulosa 0% + BaM 10% .....	44
<b>Gambar 4. 18</b> Pengujian <i>Flame Retardant</i> dari (a) PU+Nano10%+Bam 10% Variasi 1 (b) PU+Nano10%+Bam 10% Variasi 2 (c) PU+Nano10%+Bam 10% Variasi 3 .....	45
<b>Gambar 4. 19</b> Pengujian <i>Flame Retardant</i> dari (a) PU+Nano15%+Bam 10% Variasi 1 (b) PU+Nano15%+Bam 10% Variasi 2 (c) PU+Nano15%+Bam 10% Variasi 3 .....	46
<b>Gambar 4. 20</b> Grafik Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Laju Bakar Komposit.....	48

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Penelitian Terdahulu Berdasarkan Tugas Akhir.....	3
<b>Tabel 2. 2</b> Penelitian Terdahulu Berdasarkan Jurnal.....	3
<b>Tabel 2. 3</b> Sifat <i>Polyurethane</i> .....	11
<b>Tabel 2. 4</b> Sifat Material Barium M-Heksaferit .....	12
<b>Tabel 4. 1</b> Persentase Area Porositas Komposit Poliuretan/Barium Heksaferit/Nanoselulosa .....	33
<b>Tabel 4. 2</b> Ukuran Kristal Barium Heksaferit pada 3 <i>Peak</i> Tertinggi .....	35
<b>Tabel 4. 3</b> Ukuran Kristal Barium Heksaferit Variasi Nanoselulosa 0% pada 2 <i>Peak</i> Tertinggi .....	36
<b>Tabel 4. 4</b> Ukuran Kristal Barium Heksaferit Variasi Nanoselulosa 10% pada 3 <i>Peak</i> Tertinggi .....	36
<b>Tabel 4. 5</b> Ukuran Kristal Barium Heksaferit Variasi Nanoselulosa 15% pada 3 <i>Peak</i> Tertinggi .....	37
<b>Tabel 4. 6</b> Hasil Pengujian Densitas .....	38
<b>Tabel 4. 7</b> Hasil Pengujian <i>Hardness</i> .....	43
<b>Tabel 4. 8</b> Hasil Pengujian <i>Flame Retardant</i> .....	46
<b>Tabel 4. 9</b> Hasil Rata-rata Laju Bakar Pengujian <i>Flame Retardant</i> .....	47

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Material yang terdiri dari dua gabungan bahan atau lebih, yang harus tetap mempertahankan karakteristik dari tiap material pembentuknya disebut dengan material komposit. Komposit yang terdiri dari setidaknya dua senyawa yang berbeda karakteristik fisik atau kimianya berinteraksi sedemikian rupa sehingga menghasilkan bahan tunggal dengan sifat yang diharapkan lebih baik daripada komponennya secara terpisah. Umumnya, komposit terdiri dari fase lanjutan polimer (matriks) dan fase terdispersi (bahan penguat), meskipun beberapa dibuat dengan campuran dua atau lebih polimer (Effendi et al., 2015). Matriks sendiri merupakan material utama yang mempunyai fraksi volume terbesar pada material komposit. Sedangkan bahan penguat merupakan penanggung beban utama pada komposit (W. D. Callister, 1991).

Salah satu polimer yang sering digunakan adalah poliuretan karena sangat mudah untuk dibentuk dan di manufaktur. Pemanfaatan poliuretan juga beragam dalam bentuknya, ada yang dalam bentuk cairan sebagai perekat/lem, dalam bentuk busa *flexible* pada bagian tempat duduk mobil, *rigid foam* untuk *dashboard* dan *bumper* mobil, hingga sebagai *sealant* pada atap rumah. Pembuatan material komposit pada umumnya memiliki tujuan yaitu, memperbaiki sifat morfologi, sifat termal, dan sifat mekanik. Selanjutnya, untuk menghemat biaya dan juga adalah menjadikan bahan lebih ringan (Nayiroh, 2013).

Pengamatan morfologi pada komposit berguna untuk melihat struktur dan porositas pada sebuah material. Dari hasil morfologi ada banyak informasi yang bisa kita dapatkan seperti besar pori, persebaran pori, dan bentuk dari *filler* yang ditambahkan ke dalam komposit. Sifat lain yang penting dari poliuretan adalah densitasnya. Densitas pada poliuretan termasuk cukup tinggi diantara polimer lainnya. Tingginya densitas ini mengakibatkan berat yang ditambahkan kepada benda ketika poliuretan digunakan akan semakin tinggi. Selain itu, sifat termal pada poliuretan juga sangat penting. Dengan penambahan nanoselulosa, pengaruh pada sifat termal yaitu terjadinya perpindahan panas komposit menyebabkan semakin menurun. Komposit dengan *filler* nanoselulosa dapat digunakan karena penggunaannya yang sangat luas. Nanoselulosa merupakan jenis material baru yang mengalami perubahan, perubahan tersebut berupa peningkatan kristalinitas, luas permukaan, peningkatan dispersi dan biodegradasi. Dengan perubahan selulosa menjadi nanoselulosa sifat-sifat selulosa juga berubah, dapat digunakan sebagai *filler* penguat polimer.

Seiring dengan berkembangnya teknologi material komposit yang dikembangkan sebagai alat untuk menyerap gelombang radar dengan baik dan aplikasi magnet permanen. Bahan yang biasa digunakan untuk membuat adalah material magnetik yaitu Barium Heksaferit. Barium dengan tipe M ini memiliki magnetisasi saturasi yang besar, tinggi koersivitas, temperatur *curie* yang tinggi, anisotropi magnetik uniaksial yang besar, dan stabilitas kimia yang sangat baik. Material ini telah diselidiki karena penerapan teknologinya pada magnet permanen, media perekam magnet dengan densitas tinggi, dan perangkat gelombang mikro (Kanagesan et al., 2014). Selain itu, sifat listrik dan magnetik dari material ferrimagnetik ini sangat mendukung dalam aplikasi tersebut, yaitu memiliki permeabilitas dan resistivitas yang tinggi. Material oksida magnet memiliki sifat mekanik yang sangat kuat dan tidak mudah terkorosi sehingga dapat dimanfaatkan dalam teknologi tersebut.

Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan menganalisa pengaruh penambahan nanoselulosa pada komposit poliuretan dengan *filler* barium heksaferit. Dengan menambahkan nanoselulosa pada komposit diharapkan dapat mengurangi densitas dari komposit sehingga material akan menjadi lebih ringan, meningkatkan sifat tahan api dan mekanik. Dengan

menambahkan *filler* barium heksaferit yang memiliki sifat *lossy* material, mempunyai faktor *loss* dielektrik dan *loss* magnetik yang tinggi diharapkan menjadikan material mempunyai sifat permeabilitas dan resistivitas yang tinggi agar mudah untuk digunakan dalam berbagai keperluan. Perhatian utama pada penelitian ini ditujukan pada pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap morfologi, sifat termal dan mekanik pada komposit poliuretan dengan *filler* barium heksaferit. Oleh karena ini terciptalah sebuah material komposit yang merupakan perpaduan antara dua buah bahan atau lebih yang memiliki sifat yang berbeda untuk mendapatkan sebuah material yang memiliki sifat yang baru.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap morfologi pada komposit Poliuretan dengan *filler* barium heksaferit?
2. Bagaimana pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap densitas pada komposit Poliuretan dengan *filler* barium heksaferit?
3. Bagaimana pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap sifat termal pada komposit Poliuretan dengan *filler* barium heksaferit?
4. Bagaimana pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap sifat mekanik pada komposit Poliuretan dengan *filler* barium heksaferit?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Kadar uap air serta gas yang ada pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
2. Distribusi *filler* dianggap merata.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Dengan adanya rumusan masalah diatas, dapat ditarik tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menganalisis pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap morfologi pada komposit Poliuretan dengan *filler* barium heksaferit.
2. Untuk menganalisis pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap densitas pada komposit Poliuretan dengan *filler* barium heksaferit.
3. Untuk menganalisis pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap sifat termal pada komposit Poliuretan dengan *filler* barium heksaferit.
4. Untuk menganalisis pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap sifat mekanik pada komposit Poliuretan dengan *filler* barium heksaferit.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menganalisis produk komposit baru dengan menggunakan kombinasi poliuretan berpenguat barium heksaferit dan nanoselulosa.
2. Memberikan pengetahuan mengenai morfologi, sifat termal dan mekanik pada komposit poliuretan berpenguat barium heksaferit dan serat nanoselulosa.
3. Sebagai acuan penelitian yang berkaitan di masa yang akan datang.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Hasil Penelitian Terdahulu

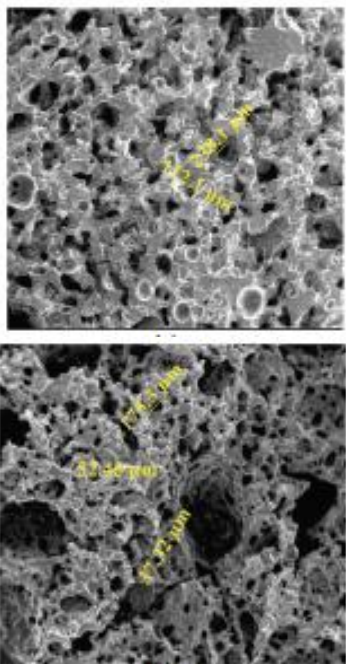
Berikut merupakan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan judul penelitian analisis pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap morfologi, sifat termal dan mekanik pada komposit poliuretan dengan *filler* barium heksaferit yang digunakan sebagai referensi dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Berikut hasil penelitian terdahulu berdasarkan Tugas Akhir terlihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

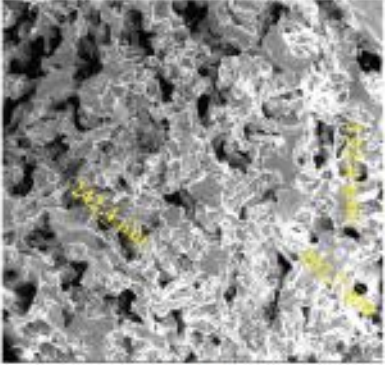
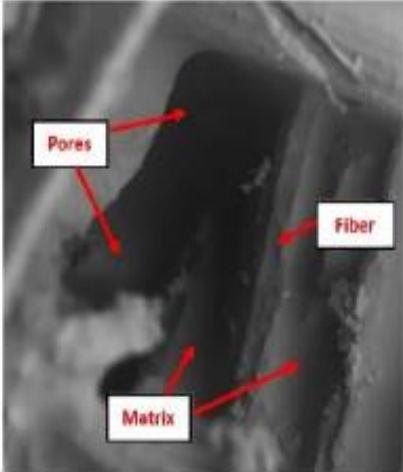
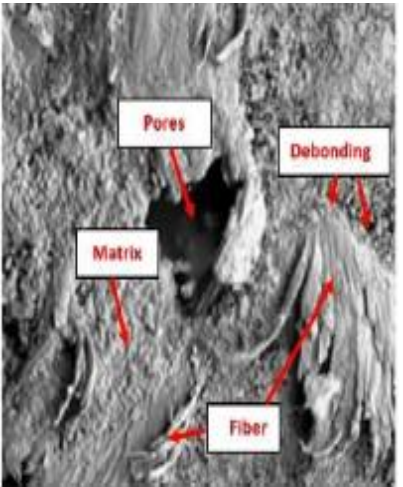
**Tabel 2. 1** Penelitian Terdahulu Berdasarkan Tugas Akhir

Nama Peneliti	Matriks	<i>Filler</i>	Hasil Pengujian
Moh Farid dan Made (2019)	<i>Silicon Rubber</i>	Nanoselulosa	Densitas 1,0695 gr/cm <sup>3</sup> pada penambahan 15% nanoselulosa (Satyawan & Farid, 2019)
Moh Farid dan Samuel (2017)	Poliuretan	Nanoselulosa	Densitas 1,0695 gr/cm <sup>3</sup> pada penambahan 15% nanoselulosa (Utomo et al., 2017)
Moh Farid dan Jonathan (2017)	Poliuretan	Nanoselulosa, Serat mikro TKKS	Densitas 1,048 gr/cm <sup>3</sup> pada penambahan 15% nanoselulosa (Dian et al., 2017)

Berikut hasil penelitian terdahulu berdasarkan Jurnal yang berkaitan dengan analisis pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap morfologi, sifat termal dan mekanik pada komposit poliuretan dengan *filler* barium heksaferit dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

**Tabel 2. 2** Penelitian Terdahulu Berdasarkan Jurnal

Nama Peneliti	Matriks	<i>Filler</i>	Hasil Pengujian
Moh Farid, Amaliya R, dkk (2019)	<i>Silicone Rubber</i>	Nanoselulosa	

Nama Peneliti	Matriks	<i>Filler</i>	Hasil Pengujian
			
			<p>Nanoselulosa berperan untuk meningkatkan pori pada komposit (Rasyida et al., 2019)</p>
<p>Moh Farid, Agung P, dkk (2018)</p>	<p>Poliester</p>	<p>Nanoselulosa</p>	
			
			<p>Nanoselulosa berpengaruh untuk membentuk pori pada komposit (Farid et al., 2018).</p>

Nama Peneliti	Matriks	Filler	Hasil Pengujian
Anand (2017)	Fiber Board	-	Fiber Board dengan densitas terendah yaitu $210 \text{ kg/m}^3$ memiliki NRC terbaik (Nandanwar et al., 2017).
Mustamir (2016)	Poliester Gypsum	Ampas Tebu dan Bambu Betung	Rata-rata kecepatan laju pembakaran pada komposit T/B-P/G 1 cm dan 3 cm adalah 0.83 cm/detik dan 0.86 cm/detik (Mustamir et al., 2016).
Yesim Buyukakinci (2011)	Poliuretan	Serat Bambu	Penambahan serat bambu menghasilkan pori pada poliuretan yang terdeformasi (Büyükkakinci et al., 2011)

## 2.2. Teori Dasar

Teori Dasar yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

### 2.2.1. Pengertian Komposit

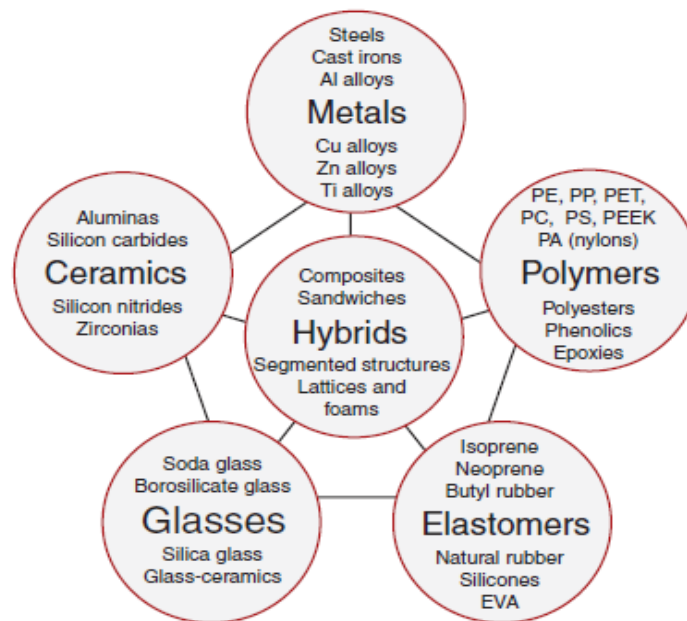
Komposit berasal dari kata kerja “*to compose*” yang berarti menyusun atau menggabung. Jadi secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan (Sunardi et al., 2015). Material yang tersusun dari dua atau lebih komponen dengan sifat atau struktur yang berbeda, kemudian secara fisik dicampur menjadi satu membentuk ikatan mekanik dengan struktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik. Umumnya material komposit merupakan material yang memiliki beberapa sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya. Dalam pengertian ini, tentu kombinasi tersebut tidak terbatas pada bahan matriksnya saja (Sulistijiono, 2012).

Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) sebagai bahan pengisi dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut matrik. Di dalam komposit unsur utamanya adalah serat, sedangkan bahan pengikatnya menggunakan bahan polimer yang mudah dibentuk dan mempunyai daya pengikat yang tinggi. Penggunaan serat sendiri yang utama untuk menentukan karakteristik bahan komposit, seperti kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik lainnya. Sebagai bahan pengisi serat digunakan untuk menahan sebagian besar gaya yang bekerja pada bahan komposit (Agustiar et al., 2019). Penguat biasanya bersifat elastis dan mempunyai kekuatan tarik yang baik namun tidak dapat digunakan pada temperatur tinggi, sedangkan matrik biasanya bersifat ulet, lunak, mengikat jika sudah mencapai titik bekunya dan tahan terhadap perlakuan kimia. Kedua bahan yang mempunyai sifat berbeda ini digabungkan untuk mendapatkan satu bahan baru (komposit) yang mempunyai karakteristik yang berbeda dari partikel penyusunnya (Morkholt et al., 2011).

Sifat-sifat dari material komposit dapat ditentukan oleh tiga faktor (Sirait, 2010), yaitu:

1. Material pembentuk. Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memiliki peranan penting terhadap pengaruh sifat komposit.
2. Interaksi antar komponen. Bahan dan bentuk dari setiap campuran atau kombinasi antar komponen penyusunnya yang berbeda, maka sifat dari kombinasi tersebut yang diperoleh akan berbeda.
3. Susunan struktural komponen. Bentuk, orientasi, dan ukuran setiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting dalam memberikan kontribusi pada penampilan komposit secara keseluruhan.

Berikut merupakan struktur hubungan antar material yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini.



**Gambar 2. 1** Struktur Hubungan Antar Material (W. D. Callister, 2007)

Pada Gambar 2.1 menunjukkan bahwa material komposit merupakan material yang saat ini semakin banyak digunakan mengingat kebutuhan material terus meningkat. Di samping memprioritaskan sifat mekanik juga dibutuhkan sifat lain yang lebih baik misalnya ringan, tahan korosi dan ramah lingkungan. Proses pembuatan atau proses produksi dari komposit merupakan hal yang sangat penting dalam menghasilkan material komposit tersebut. Banyak cara atau metode yang digunakan untuk menghasilkan material komposit yang diinginkan (Sunardi et al., 2015).

### 2.2.2. Klasifikasi Komposit

Komposit dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu kelompok komposit berdasarkan klasifikasi bahan matriknya dan kelompok komposit berdasarkan klasifikasi bahan penguatnya (Sharma et al., 2020).

#### 2.2.2.1 Klasifikasi Berdasarkan Matrik

Matrik sebagai pengikat dan pelindung komposit memegang peranan penting dalam mentransfer tegangan, melindungi bahan dari lingkungan dan menjaga permukaan bahan dari pengikisan. Matrik harus memiliki kompatibilitas yang baik dengan material.

Klasifikasi komposit berdasarkan jenis matriknya dibedakan menjadi tiga (W. D. Callister, 1991), yaitu:

1. *Polymer Matrix Composites* (PMC)

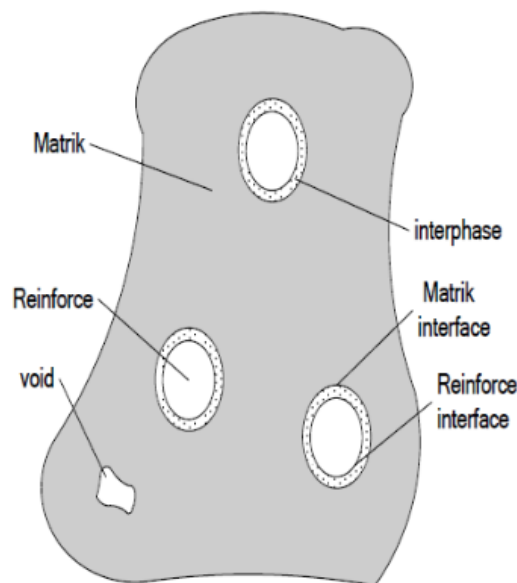
Polimer adalah matrik yang paling umum digunakan pada material komposit karena tahan korosi dan ringan. Terdapat dua jenis matrik polimer, termoset dan termoplastik. Perbedaannya yaitu polimer termoset tidak dapat didaur ulang dan bersifat ireversibel (tidak dapat kembali tepat kepada keadaan awal setelah berlangsungnya suatu proses) sedangkan termoplastik dapat didaur ulang menggunakan energi panas sehingga lebih banyak digunakan dan bersifat reversibel (dapat kembali kepada keadaan semula).

2. *Metal Matriks Composite (MMC)*

*Metal Matriks Composite* adalah komposit bermatrik logam komposit yang menggunakan bahan logam sebagai penyusun utama atau komposisi dominan dan mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Pada mulanya yang diteliti adalah *Continuous Filamen MMC* yang digunakan dalam industri penerbangan.

3. *Ceramic Matriks Composite (CMC)*

Keramik merupakan material yang tahan oksidasi dan tahan temperatur tinggi, namun nilai ketangguhan patahnya sangat rendah, sehingga memiliki kerapuhan luar biasa. Komposit matriks keramik diperkuat dengan serat panjang dan pendek. Proses pembuatannya adalah melalui proses penekanan keadaan panas, penekanan panas isostatik, sintering fase air.



**Gambar 2. 2** Fasa-fasa dalam Komposit (Sunardi et al., 2015)

Pada Gambar 2.2 di atas menunjukkan di dalam komposit dapat terbentuk *interphase* yaitu fase diantara fase matrik dan penguat yang dapat timbul akibat interaksi kimia antara fase matrik dan fase penguat. Semakin berkembangnya teknologi memungkinkan komposit dapat didesain sedemikian rupa sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan sehingga dapat dibuat menjadi lebih kuat, ringan dan kaku (Harper, 1996).

#### 2.2.2.2 Klasifikasi Berdasarkan Penguat (*Reinforce*)

Penguat dalam teknologi komposit didefinisikan sebagai suatu bahan penguat utama, memiliki sifat yang lebih unggul dari material pengisi dan merupakan suatu konstruksi atau rangka tempat melekatnya matrik.

Berdasarkan cara penguatannya komposit dibedakan menjadi tiga (Jones, 1999) yaitu:

1. *Fibrous Composite* (komposit serat)

Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan menggunakan penguat berupa serat atau *fiber*. *Fiber* yang digunakan bisa berupa *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers (poly aramide)* dan sebagainya. *Fiber* ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Contohnya serat gelas dalam matrik polimer dan serat karbon dalam matrik polimer .

2. *Laminated Composite* (Komposit Lapisan)

Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri. Contohnya: Triplek, *Playwood*.

3. *Particulate Composite* (Komposit Partikel)

Merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya. Contohnya: komposit dengan penguat serbuk logam, beton dengan partikel penguat krikil.

### 2.2.3. Matriks

Matriks dalam teknologi komposit didefinisikan sebagai material yang bertindak sebagai pengisi dan pengikat yang menopang, melindungi dan mendistribusikan beban dengan baik serta mencegah propagasi perpindahan serat ke seluruh komposit. Untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan, matriks harus memiliki sifat tangguh, ulet dan cukup kuat. Matriks merupakan fasa yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan) dalam komposit (Aditya Perdana, 2018). Bahan matriks yang umum digunakan pada komposit adalah matriks logam, matriks polimer, dan matriks keramik (Rachmadhani & Farid, 2017).

Material komposit merupakan gabungan dari berbagai unsur yang berbeda. Hal itu menyebabkan munculnya daerah perbatasan antara serat dan matriks. Daerah pencampuran antara serat dan matriks disebut dengan daerah *interphase (bonding agent)*, sedangkan batas pencampuran antara serat dan matriks disebut *interface* (Schwartz, 1984).

### 2.2.4. Bahan Penguat (*Reinforcement*)

*Reinforcement* (bahan penguat) merupakan bagian komposit yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Terdapat istilah pada daerah penyusun material komposit, yaitu matriks (penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), interfase (pelekat antar dua penyusun), dan *interface* (permukaan fase yang berbatasan dengan fase lain). Material penguat dicampur dengan material matriks selama fabrikasi untuk menambah beberapa aspek tingkah laku pada material komposit serta memberikan dimensi lain pada desain fleksibilitas yang dimiliki komposit (Gibson, 2011).

Serat adalah salah satu bahan pengisi matrik (*filler*). Serat menempati fraksi volume terbesar pada lapisan komposit dan membagi porsi yang besar dari beban pada struktur komposit. Pemilihan serat yang tepat yaitu, tipe, fraksi volume serat, panjang serat, dan orientasi serat sangat penting (Mallick, 2007). Berdasarkan pembuatannya, serat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu serat sintesis dan serat alami. Kedua jenis serat itu digunakan sebagai penguat atau pengisi pada material komposit. Serat sintesis banyak berperan sebagai penguat, sedangkan serat alami digunakan sebagai pengisi (Sulistijiono, 2012).

Jenis serat diklasifikasikan menjadi dua (William D. Callister, 1991), yaitu:

1. Serat Alam (Alami)

Komposit serat alami ini menggunakan serat yang berasal dari tumbuhan maupun hewan. Serat alami ini dapat berupa serat kayu, serat sabut kelapa, serat bambu, jerami, wol, sutera, dan lain sebagainya. Serat alami dapat digunakan sebagai pengisi dengan meningkatkan kekuatan dan kekakuan dari material yang dihasilkan

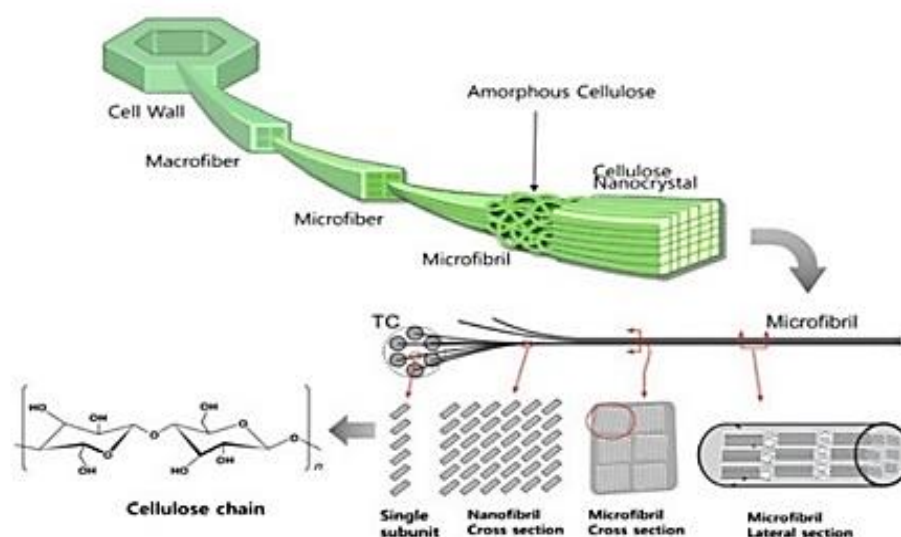
2. Serat Sintesis (Buatan)

Komposit serat sintesis merupakan serat buatan yang berasal dari produksi industri manufaktur. Pembuatan bahan penguat serat dengan cara menggabungkan komponen-komponen menggunakan teknik tertentu agar mendapatkan hasil serat dengan sifat struktur dan bentuk geometri yang diinginkan. Serat sintesis dapat berupa serat karbon, serat nilon, serat gelas, dan lain sebagainya.



### 2.2.5. Nanoselulosa

Nanoselulosa adalah bahan yang dapat diperbarui dalam banyak aplikasi, seperti di bidang kimia, makanan, farmasi, dan lain-lain. Nanoselulosa dapat diekstraksi dari kayu, tumbuhan, bakteri dan alga. Bahan intrinsik kayu adalah mikrofibril selulosa yang memiliki ukuran penampang 20-100 nm dengan panjang serat 100-200 nm. Dengan demikian, ekstraksi nanoselulosa dari sumber daya alam meliputi pra-perlakuan sumber daya alam dan pemecahan bagian amorf selulosa (Kim et al., 2015). Nanoselulosa yang diperoleh melalui proses hidrolisis menggunakan asam dari  $\alpha$ - selulosa, diklasifikasikan sebagai pembahasan baru tentang nanomaterial. Banyak penelitian tentang proses pemisahan nanoselulosa, seperti dimensi skala nanometer, tinggi kekuatan spesifik modulus, dan tinggi daerah permukaan (Habibi et al., 2010). Dikarenakan perubahan ukuran dan sifat nanoselulosa, nanoselulosa dapat digunakan sebagai *filler* penguat pada berbagai polimer termasuk polietilen, karet alam, polipropilen, aditif untuk pembawa obat dan absorben. Partikel nanoselulosa merupakan jenis material baru yang mengalami perubahan, perubahan tersebut berupa peningkatan kristalinitas, luas permukaan, peningkatan dispersi dan biodegradasi. Dengan perubahan selulosa menjadi nanoselulosa sifat-sifat selulosa juga berubah, dapat digunakan sebagai *filler* penguat polimer, aditif untuk produksi *biodegradable*, penguat membran, pengental untuk dispersi, dan media pembawa obat (Ioelovich, 2012).



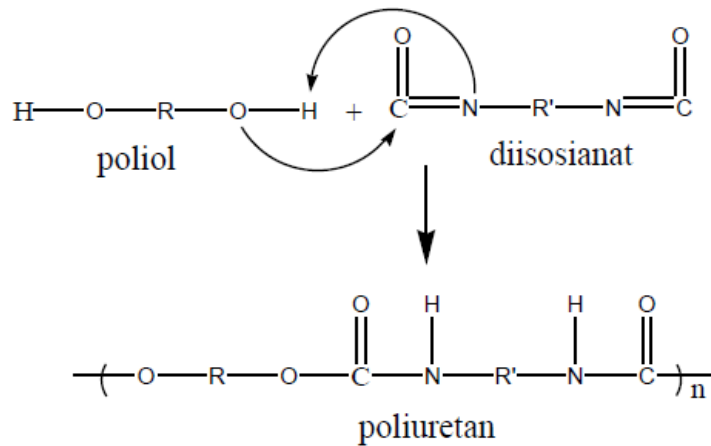
**Gambar 2. 3** Struktur Hierarki Selulosa (Kim et al., 2015)

Pada Gambar 2.3 diketahui bahwa Selulosa terdiri dari unit berulang selobiosa yang terdiri dari anhidroglukosa yang dihubungkan bersama oleh ikatan  $\beta$ -1,4 tidak seperti pati dan polisakarida lainnya, ikatan  $\beta$ -1,4 glukosidik dalam selulosa menyebabkan rantai makromolekul untuk menyelaraskan dan untuk gugus hidroksil pada posisi tertentu untuk ikatan hidrogen di dalam dan diantara rantai polimer (Zhang et al., 2013). Bagian amorf dan kristal selulosa terletak secara berurutan sepanjang arah serat berturut-turut, sedangkan bagian amorf memisahkan nanofibril dalam penampang melintang. Hampir tidak mungkin untuk memecahkan bagian kristal selulosa karena ikatan hidrogen yang kuat antara gugus hidroksil dalam selulosa. Di sisi lain, bagian selulosa yang amorf relatif mudah rusak. Dengan demikian, ekstraksi *Nanocellulose* dari sumber daya alam meliputi pra-perlakuan sumber daya alam dan pemecahan bagian amorf selulosa sehingga mengekstrak dalam bentuk *Nanofibrillated Cellulose* dan *Cellulose Nanocrystal* (Kim et al., 2015).

### 2.2.6. Poliuretana

Poliuretana merupakan bahan polimer yang mempunyai ciri khas adanya gugus fungsi uretana ( $\text{-NHCOO-}$ ) dalam rantai utama polimer. Gugus fungsi uretana dihasilkan dari reaksi antara isosianat dengan senyawa yang mengandung gugus hidroksil (Ashida, 2007).

*Polyurethane* dibuat dengan mereaksikan molekul yang memiliki gugus isosianat dengan molekul yang memiliki gugus hidroksil, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Dengan demikian, jenis dan ukuran setiap molekul pembentuk akan memberikan sumbangan terhadap sifat *polyurethane* yang terbentuk. Hal inilah yang membuat *polyurethane* menjadi polimer yang sangat fleksibel baik dalam sifat mekanik maupun aplikasinya.



Gambar 2.4 Ikatan Uretana dan Reaksi Pembentukan Poliuretana (Cheremisinoff, 1989)

Jenis isosianat, poliol ataupun pemanjang rantai yang digunakan dalam sintesis poliuretana akan mempengaruhi kecepatan reaksi dan sifat dari produk akhir yang dihasilkan. Poliol memberikan fleksibilitas yang tinggi pada struktur poliuretana sehingga poliol disebut sebagai segmen lunak dari poliuretana. Disisi lain, isosianat dan pemanjang rantai memberikan kekakuan atau rigiditas dalam struktur poliuretana sehingga sering disebut sebagai segmen keras.

Saat ini aplikasi *polyurethane* paling banyak (sekitar 70%) adalah sebagai bahan busa, kemudian diikuti dengan elastomer, baru kemudian sebagai lem dan pelapis. Pembuatan busa dari *polyurethane* dimungkinkan dengan menggunakan agen pengembang (*blowing agent*), yang akan menghasilkan gas pada saat terjadi reaksi sehingga *polyurethane* dapat membentuk busa. Jika *polyurethane* yang digunakan bersifat lunak, maka yang dihasilkan adalah busa lunak seperti pada kasur busa, alas kursi dan jok mobil. Ada juga jenis busa kaku (*rigid foam*), seperti pada insulasi dinding, insulasi lemari es atau insulasi kedap suara. Busa *polyurethane* bersifat ulet dan tidak mudah putus (Cheremisinoff, 1989).

Keunggulan *polyurethane* dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya (*rubber, metal, wood dan plastic*):

1. Tingkat kekerasan suatu *spare part* sangat penting dalam penggunaan suatu mesin. Dengan menggunakan bahan *polyurethane* kekerasan suatu *spare part* dapat diatur sedemikian rupa dari *hardness 10 shore D* sampai dengan *95 shore D*.
2. Mempunyai tingkat abrasi yang tinggi yang mengakibatkan *spare part* yang terbuat dari bahan *polyurethane* tidak mudah aus.
3. *Spare part* yang terbuat dari bahan *polyurethane* dapat *flexible* terhadap temperatur rendah (*low temperature*), bahan dapat dioperasikan sampai dengan di bawah  $0^{\circ}\text{C}$ .
4. *Spare part* yang terbuat dari bahan *polyurethane* tidak mudah sobek, kekuatannya lebih baik dari bahan *rubber*.



Berikut dilampirkan sifat dari *polyurethane* yang ditunjukkan pada Tabel 2.3 di bawah ini.

**Tabel 2. 3** Sifat *Polyurethane* (Kricheldorf, 1984)

<b>Sifat Fisik</b>	
Massa Jenis	1.12-1.24 gr/cm <sup>3</sup>
Serapan Air	0.15-0.19 %
Penyusutan	0.4-1 %
<b>Sifat Mekanik</b>	
Kekuatan Tarik	4500-9000 Psi
Perpanjangan Hingga Patah	60-550 %
Kekuatan Terhadap <i>Impact Izod</i>	1.5-1.8 ft-lb/in (tidak patah)
<b>Sifat Thermal</b>	
Titik Lebur	75-137 °C
Temperatur Proses	370-500 °F

#### 2.2.7. Barium M-Heksaferit (BaM)

Perkembangan tentang material penyerap gelombang elektromagnetik telah meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Dibandingkan ferit dengan *spinel* dan struktur garnet, ferit dengan struktur heksagonal anisotropik memiliki magnetokristalin intrinsik yang lebih besar, jadi sebagai penyerap gelombang elektromagnetik, ferit heksagonal lebih disesuaikan dengan aplikasi dipita frekuensi tinggi dan dapat diterapkan secara luas pada pelindung gelombang elektromagnetik dan teknologi (Ghasemi et al., 2006)

Pasir besi yang diolah akan menghasilkan magnet keras dan magnet lunak. Salah satu magnet keras yang biasa digunakan dalam industri adalah barium ferit dan stronsium ferit. Barium ferit digunakan dalam industri karena mempunyai sifat permanen setelah dimagnetisasi dan memiliki nilai saturasi yang besar. Barium ferit telah dikenal sebagai material magnetik permanen yang memiliki performa yang tinggi, mempunyai sifat koersivitas tinggi, magnetisasi saturasi yang tinggi, temperatur *curie* tinggi, kestabilan kimiawi yang baik, dan tahan korosi (Rahmawan et al., 2013).

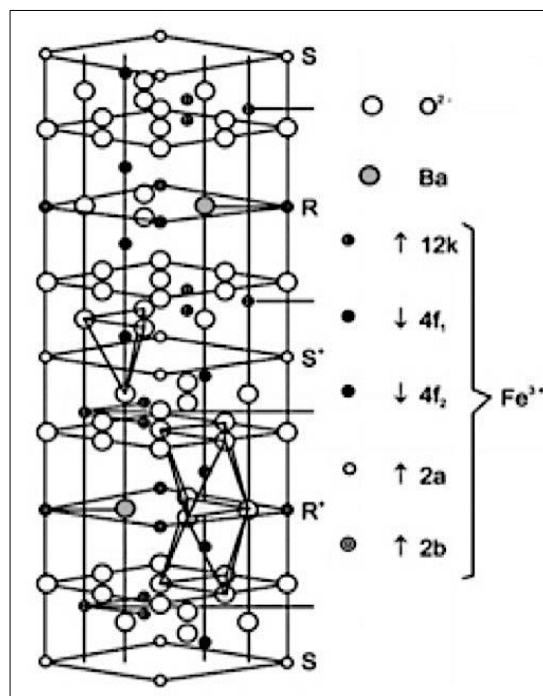
Barium heksaferit dengan rumus kimia BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> merupakan salah satu heksaferit tipe M. Barium dengan tipe M ini memiliki magnetisasi saturasi yang besar, tinggi koersivitas, temperatur *curie* yang tinggi, anisotropi magnetik uniaksial yang besar, dan stabilitas kimia yang sangat baik. Material ini telah diselidiki karena penerapan teknologinya pada magnet permanen, media perekam magnet dengan densitas tinggi, dan perangkat gelombang mikro (Kanagesan et al., 2014).

Salah satu aplikasi magnet permanen barium heksaferit yang sedang diminati saat ini adalah sebagai penyerap gelombang elektromagnetik. Hal ini dikarenakan sifat listrik dan magnetik dari material ferrimagnetik ini sangat mendukung dalam aplikasi tersebut, yaitu memiliki permeabilitas dan resistivitas yang tinggi. Material oksida magnet memiliki sifat mekanik yang sangat kuat dan tidak mudah terkorosi, akan tetapi material ini sangat rentan terhadap proses perlakuan panas, sehingga mempunyai pengaruh yang cukup signifikan dan memiliki dampak negatif terhadap sifat kemagnetan, tetapi proses ini tidak dapat dihindarkan pada proses metalurgi serbuk untuk meningkatkan kekuatan magnet, sehingga dapat dimanfaatkan dalam teknologi (Simbolon, 2013). Berikut merupakan sifat dari material barium M-heksaferit yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini.

**Tabel 2. 4** Sifat Material Barium M-Heksaferrit (Kanagesan et al., 2014)

<b>Sifat Material Barium M-Heksaferrit</b>	
Melting Point (°C)	1500
Curie Temperatur (°C)	450
Specific Gravity (g/cc)	5,3 (20°C)
Titik Leleh (°C)	± 1500
Koersivitas (Oe)	6700
Saturasi (emu/g)	72
Bentuk	Serbuk
Warna	Cokelat kehitam-hitaman

Material magnetik dibedakan menjadi dua jenis yaitu *soft* dan *hard*. Material *hard* magnetik memiliki kurva histeresis yang lebih lebar karena energi yang hilang pada proses magnetisasi yang tinggi sehingga koersivitasnya ( $H_c$ ) besar. Semakin besar koersivitasnya, semakin keras sifat magnetnya. Material *hard* magnetik banyak digunakan sebagai bahan magnet permanen. Material *soft* magnetik dapat mencapai magnetisasi jenuh dengan pemberian medan magnet eksternal yang relatif rendah, sehingga mudah dimagnetisasi maupun demagnetisasi. Material *hard* magnetik memiliki nilai  $H_c$  di atas 10 kA/m, sedangkan untuk material *soft* magnetik di bawah 1 kA/m. Barium heksaferrit memiliki sifat anisotropi kristal yang besar, sehingga memiliki medan  $H_c$  yang besar. Sifat ini ditimbulkan saat orientasi dipolnya searah (Linda & Astuti, 2021).



**Gambar 2. 5** Struktur Kristal Barium M-Heksaferrit (Castellanos et al., 2011)

Pada Gambar 2.5 menunjukkan struktur kristal heksagonal dari tipe barium M-heksaferrit telah dijabarkan yang menunjukkan unit sel dari barium heksaferrit. Barium heksaferrit dengan struktur heksagonal memiliki *magneto crystalline* yang cukup besar, temperatur *curie* yang tinggi, dan magnetisasi tinggi serta stabilitas kimia dan tahan korosi (Atay & Celik, 2013).

### 2.2.8. *Flame Retardant*

*Flame Retardant* merupakan senyawa kimia yang mampu memberi sifat tahan terhadap api dari bahan yang akan ditambahkan. Senyawa tahan api memiliki nilai yang telah diidentifikasi atau ditemukan melalui cara *trial and error*, bukan pada dasar penyelidikan dasar mekanisme atau studi sistematis terkait parameter struktur molekul efektivitas tahan api. Teknologi senyawa tahan api dan bahan polimer tahan api mengalami kemajuan yang baik, sementara prinsip-prinsip ilmiah *flame retardant* kurang klasifikasinya.

Senyawa tahan api yang dikenal dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Asam-asam anorganik dan garam pembentuk asam (misalnya garam- garam amonium sulfat, sulfanic, fosfat, klorida, bromida, dan asam borat), yang bertindak sebagai agen dehidrasi. Ini adalah fase padat *retardants*, penting di mana daya tahan untuk pencucian atau mencuci tidak diperlukan (misalnya kayu, tekstil selulosa, dan kertas).
2. Garam anorganik yang berkontribusi pada pembentukan lapisan kaca sekitar massa polimer (misalnya borat, fosfat, dan silikat).
3. Garam anorganik dan hidrat yang terurai *endothermically*, merilis sebuah pengencer *noncombustible* (misalnya air) ke fase gas misalnya, alumina terhidrasi ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ), penting dalam aplikasi tertentu resin termoplastik (misalnya karpet).
4. Senyawa antimoni yang berinteraksi secara sinergis dengan *flame retardants* berisi halogen, trioksida antimon ( $Sb_4O_6$ ) secara luas digunakan dalam plastik dan serat untuk mengurangi jumlah halogen dalam *flame retardant* yang diperlukan, dan dengan demikian meminimalkan efek dari modifikasi pada sifat kinerja. Senyawa organik fosfor umumnya fase padat *retardants* yang penting untuk polimer selulosa dan polimer poliuretan. Gugus organik dalam senyawa tahan api ini memberikan kontribusi kompatibilitas dan/atau reaktivitas dengan substrat, sedangkan efektivitas tahan api dan efisiensi umumnya tergantung pada kadar fosfor.
6. Senyawa organik halogen umumnya gas fase *retardants* penting untuk polimer hidrokarbon dan lain-lain. Efektivitas dan efisiensi tergantung pada halogen tertentu (Cl dan Br), pada konten halogen, pada suhu di mana dehidrohalogenasi senyawa terjadi (*thermal* stabilitas senyawa halogen, halogen alifatik dan aromatik) sehubungan dengan suhu penguraian substrat polimer dan pada kehadiran *synergists*.
7. Senyawa organik yang mengandung fosfor dan halogen.
8. Senyawa *Miscellaneous* yang dilaporkan telah menunjukkan efektivitas polimer substrat spesifik di bawah beberapa kondisi pengukuran misalnya, timah, titanium, dan senyawa kromium (wol), garam molybdenum, seng dan magnesium klorida (kayu), dan tiourea dan amonium tiosianat (nilon).

Modifikasi polimer dengan senyawa tahan api ini dirancang untuk mengurangi kemungkinan pengapian dan pembakaran berkelanjutan jika terkena paparan panas. Ini merupakan aspek penting dari bahaya kebakaran. Aspek-aspek lain termasuk evolusi asap (yang dapat mengganggu visibilitas dan jalan keluar) dan pembentukan produk degradasi, baik partikulat atau gas, yang mungkin beracun atau mematikan (C, 1987).

*Flame retardant* dimaksudkan polimer tahan terhadap api dengan penambahan bahan *additive* fungsional. *Flame retardant* langsung dicampur dengan resin atau bahan plastik, kemudahan pengolahan, adaptasi luas. Seringkali sebagai monomer reaktif *flame retardant* terikat pada rantai polimer, pada sifat produk kecil dan efek tahan api tahan lama. Terutama digunakan untuk plastik tahan api, menunda atau mencegah pembakaran plastik, terutama pembakaran jenis polimer plastik. Waktu memicu pertumbuhan diaplikasikan pemadam kebakaran sehingga sulit untuk terbakar. Umum diaplikasikan pada PP, PA, PE, PS, ABS, EVA dan PET, PBT dan polimer yang mudah terbakar dan plastik lainnya keduanya perlu ditambahkan dengan tujuan agar tahan api (Al-mosawi et al., 2012). Penurunan sifat

flamabilitas dari polimer dapat melalui penambahan senyawa tahan api. *Flame retardant* bekerja dengan cara mendinginkan, membentuk lapisan protektif atau melalui pelepasan air dan CO<sub>2</sub>. *Flame retardant* yang biasa digunakan adalah hidroksida logam, senyawa posporus, senyawa yang mengandung halogen dan *clay* (Aya et al., 2013).

### 2.2.9. Sifat Mekanik

Sifat mekanik merupakan sifat yang berperan penting dan mendeskripsikan kekuatan atau kelemahan dari suatu material.

Berikut adalah contoh dari sifat mekanik dan penjelasannya:

#### 1. Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan adalah sebuah ukuran ketahanan dari sebuah material terhadap *plastic deformation* yang disebabkan oleh abrasi atau indentasi mekanik, ciri khas dari kekerasan yang kuat adalah ikatan antarmolekul yang kuat. Kekerasan dapat diuji dengan pengujian kekerasan *Brinell*, *Rockwell*, dan *Vickers*.

#### 2. Kekuatan Tarik (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik atau *tensile strength* adalah tegangan yang dapat ditahan oleh sebuah material ketika material tersebut ditarik dan sebelum material tersebut akhirnya patah. Ketika ditarik atau diregangkan bahan atau material dikategorikan menjadi dua, yaitu material yang patah tanpa mengalami deformasi, atau disebut material yang bersifat getas (*brittle*) dan material yang mengalami deformasi sebelum akhirnya patah, atau disebut material yang bersifat elastis (*ductile*). Kekuatan tarik dapat diukur dengan melakukan uji tarik. Dari pengujian tersebut didapatkan kurva tegangan–regangan yang menunjukkan kekuatan dari material. Titik tertinggi dari kurva tegangan–regangan merupakan kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*).

#### 3. Keuletan (*Ductility*)

Keuletan atau *ductility* adalah kemampuan material untuk diregangkan sebelum akhirnya patah. Keuletan merupakan sifat mekanik yang mengukur kemampuan material untuk mengalami sebuah deformasi plastis sebelum akhirnya material tersebut patah.

#### 4. Kekuatan *Impact* (*Impact Strength*)

Kekuatan *impact* atau *impact strength* adalah kemampuan sebuah material untuk menahan beban yang diaplikasikan secara mendadak atau tiba – tiba. *Impact strength* dapat diukur dengan uji *impact* dengan metode *Izod* atau uji *impact* dengan metode *Charpy* (D. Mudgil, 2017).

### 2.2.10. Hukum Pencampuran

Pada umumnya, faktor-faktor yang menentukan sifat pada material komposit antara lain yaitu: jenis, bentuk geometris dan struktur, rasio perbandingan, daya lekat, orientasi bahan penguat dan bahan penyusun, dan proses pembuatan (Sulistijiono, 2012).

Persamaan 2.1 menunjukkan bahwasannya, volume material komposit ( $V_c$ ) terdiri dari bahan penyusun material komposit yaitu volume *filler* ( $V_f$ ) dan volume matrik ( $V_m$ ).

$$v_c = v_f + v_m \quad (2.1)$$

Persamaan 2.2 menunjukkan pembagian komposisi fraksi dari bahan penyusun material komposit yaitu volume *filler* ( $V_f$ ) dan volume matrik ( $V_m$ ).

$$V_f = \frac{v_f}{v_c}; V_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (2.2)$$

Persamaan 2.3 menunjukkan bahwasannya, berat material komposit ( $w_c$ ) yaitu terdiri dari berat penyusunnya berupa berat *filler* ( $w_f$ ) dan berat matrik ( $w_m$ ).

$$w_c = w_f + w_m \quad (2.3)$$

Persamaan 2.4 menunjukkan pembagian beban dari fraksi berat penyusun material komposit yaitu berat *filler* ( $w_f$ ) dan berat matrik ( $w_m$ ).

$$W_f = \frac{w_f}{w_c}; W_m = \frac{w_m}{w_c} \quad (2.4)$$

Persamaan 2.5, Persamaan 2.6, dan Persamaan 2.7 menunjukkan bahwasannya dengan mengetahui massa jenis material komposit, matrik, dan *filler*, maka dapat diperoleh konversi dari fraksi volume ke fraksi berat.

$$W_f = \frac{w_f}{w_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot \frac{v_f}{v_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot V_f \quad (2.5)$$

$$W_f = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot V_f \quad (2.6)$$

$$W_m = \frac{\rho_m}{\rho_m} \cdot V_m \quad (2.6)$$

Persamaan 2.5, Persamaan 2.6, dan Persamaan 2.7 dapat digunakan untuk menentukan massa jenis material komposit.

$$\rho_c = \rho_f \cdot V_f + \rho_m \cdot V_m \quad (2.7)$$

$$\rho_c = \frac{1}{\left(\frac{W_f}{\rho_f}\right) + \left(\frac{W_m}{\rho_m}\right)} \quad (2.8)$$

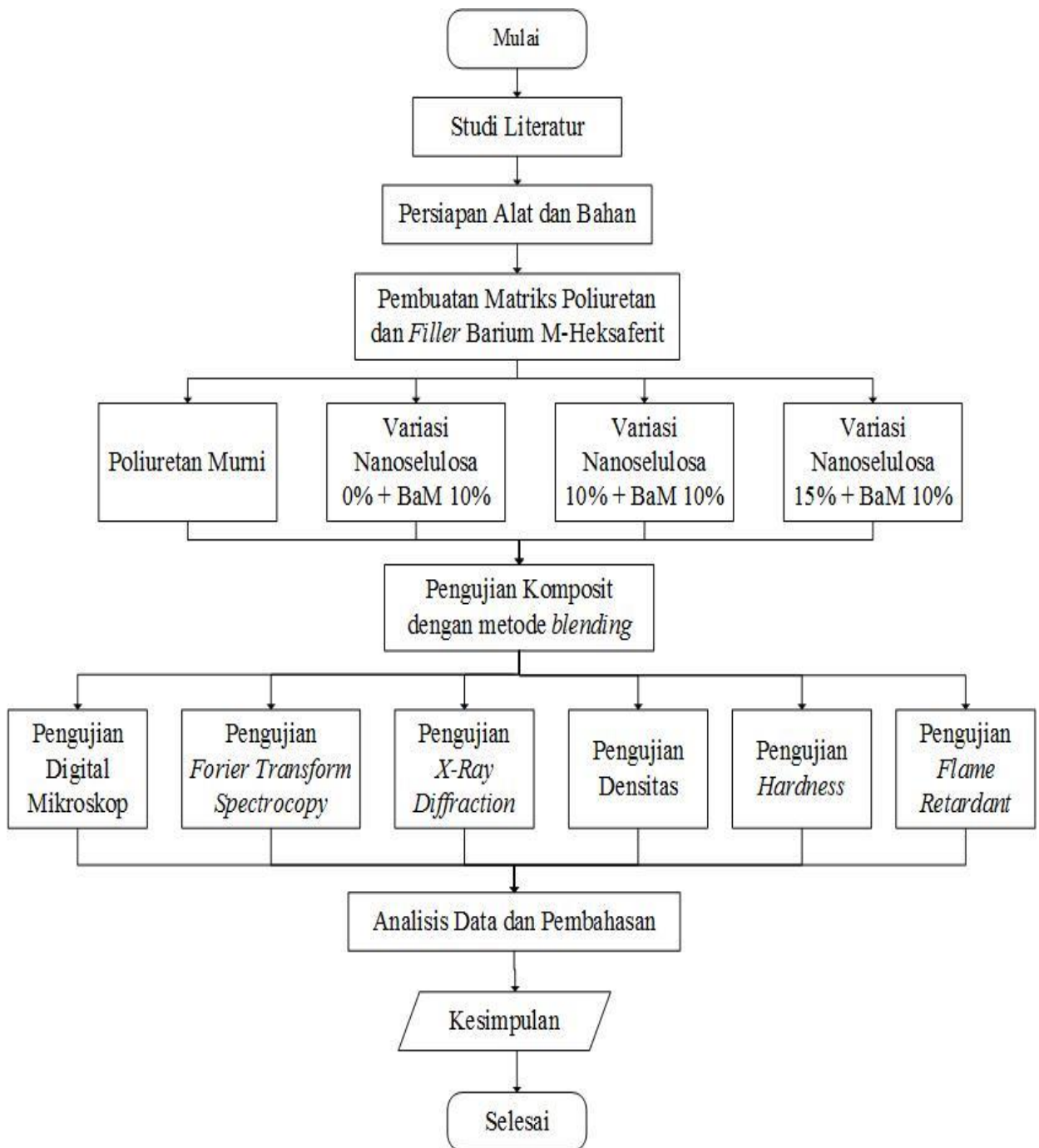
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

#### 3.1.1 Diagram Alir Penelitian

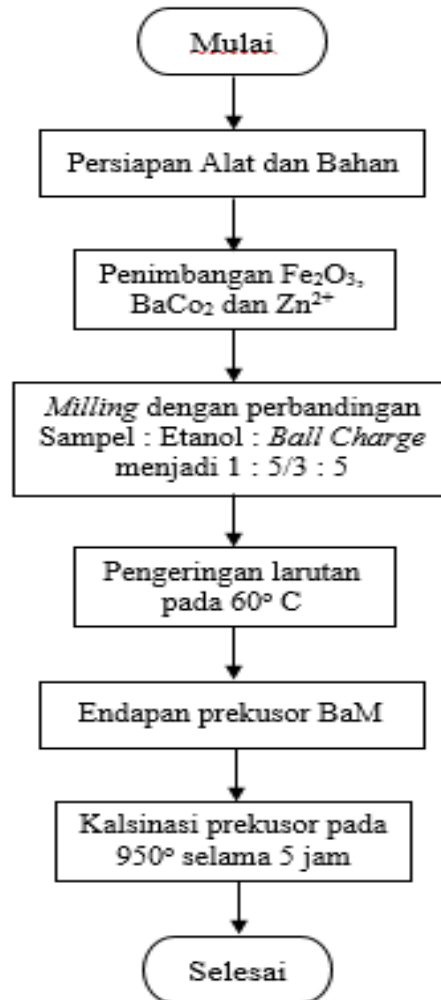
Pada penelitian ini, Diagram alir atau *flowchart* dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

### 3.1.2 Sintetis Barium Heksaferit

Pada penelitian ini, Diagram Sintetis Barium Heksaferit dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Sintetis Barium Heksaferit

## 3.2 Metode Penelitian

Adapun Metode Penelitian dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

### 3.2.1 Persiapan Bahan

Untuk dapat melaksanakan pengujian, terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan. Persiapan bahan ini sangat penting untuk dilakukan karena dapat mempengaruhi hasil pengujian dan hasil dari analisa dan pembahasan yang dilakukan.

Berikut ini merupakan metode dalam persiapan bahan antara lain:

#### A. Pengolahan Matriks

Dimasukkan *Phenyl-Isocyanate (Polyurethane A)* dan *Polypropylene Glycol (Polyurethane B)* dalam wadah berbeda lalu ditimbang sesuai perhitungan



### B. Sintesis Barium M-Heksaferit

Sintesis Barium M-Heksaferit doping ion  $Zn^{2+}$  menggunakan metode *solid state* seperti di bawah ini : (Racmawati, Susmita, 2016)

1. Serbuk  $Fe_2O_3$  dicampurkan dengan  $BaCO_3$  dan ditambahkan dengan serbuk  $Zn^{2+}$  sesuai dengan perhitungan stoikiometri ke dalam *jar milling*.
2. Dilakukan proses penggilingan (*milling*) dengan perbandingan sampel : alkohol : bola baja adalah 1 : 5/3 : 5 dengan kecepatan 150 rpm selama 2 jam dengan waktu henti (*pause*) selama 30 menit.
3. Larutan *wet milling* yang terbentuk dikeringkan pada temperatur  $60^\circ C$  dan didapatkan serbuk prekursor BaM.
4. Prekursor BaM dikalsinasi pada temperatur  $950^\circ C$  selama 5 jam untuk didapatkan kristalin BaM.
5. Reaksi yang terjadi selama proses sintesis sebagai berikut:  
 $BaCO_3 + 6Fe_2O_3 + x Zn = BaFe_{12-x}Zn_xO_{19} + CO_2$

### C. Pembuatan Cetakan

Untuk cetakan terbuat dari pipa PVC dengan diameter 110 mm dan tinggi 30mm.

### D. Pembuatan Komposit

1. Massa *Polyisocyanate* dan *Polyol Compound* ditimbang sesuai dengan perbandingan yang telah ditentukan.
2. Massa nanoselulosa ditimbang sesuai fraksi yang telah ditentukan.
3. Nanoselulosa dimasukkan ke dalam wadah *Polyisocyanate* kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* sampai merata.
4. Barium Heksaferit ditambahkan ke dalam wadah dan diaduk sampai merata.
5. *Polyol Compound* dituang ke dalam wadah dan diaduk sampai pencampurannya homogen dan warnanya menjadi terang.
6. Campuran tersebut dituang ke dalam cetakan dan didiamkan selama kurang lebih 30 menit.
7. Spesimen dikeluarkan dari cetakan.
8. Setelah dikeluarkan, ukuran spesimen disesuaikan dengan standar pengujian. Terlihat pada Gambar 3.3 adalah hasil dari komposit yang dibuat.



**Gambar 3. 3** Hasil Pembuatan Komposit Poliuretan/Nanoselulosa/Barium Heksaferit

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Berikut ini merupakan Alat dan Bahan yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Cetakan

Cetakan digunakan untuk mencetak spesimen uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 di bawah ini.



**Gambar 3. 4** Cetakan Spesimen

2. Timbangan Digital

Timbangan digital berfungsi untuk menimbang material komposit yang digunakan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5 di bawah ini.



**Gambar 3. 5** Timbangan Digital

3. *Planetary Ball Milling*

*Planetary Ball Milling* digunakan untuk pembuatan barium heksaferit seperti pada Gambar 3.6 di bawah ini.



**Gambar 3. 6** *Planetary Ball Milling*

4. Gelas Beaker

Alat ini digunakan sebagai wadah untuk mencampurkan larutan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 di bawah ini.



**Gambar 3. 7** Gelas Beaker

5. Aluminium Foil

Digunakan untuk melapisi cetakan agar tidak lengket seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 di bawah ini.



**Gambar 3. 8** Aluminium Foil

6. *Hot Plate and Stirrer*

Alat ini digunakan untuk mengeringkan serbuk prekursor BaM yang masih dalam bentuk larutan *wet milling* setelah proses penggilingan dari *Ball Mill*. *Hot plate* dan *Stirrer* yang digunakan milik Laboratorium Fisika Material Departemen Teknik Material FTIRS – ITS seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9 di bawah ini.



**Gambar 3. 9** *Hot Plate and Stirrer*

7. Alat Uji *Forier Transform Spectroscopy* (FTIR)

Alat FTIR yang digunakan merupakan milik Laboratorium Karakterisasi Material di Departemen Teknik Material FTIRS – ITS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 di bawah ini.



**Gambar 3. 10** Alat Uji FTIR

8. Alat Uji *X-Ray Diffraction* (XRD)

Alat XRD berfungsi untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 di bawah ini.



**Gambar 3. 11** Alat Uji *X-Ray Diffraction* (XRD)

9. Alat Uji Densitas

Alat uji densitas yang digunakan menggunakan timbangan digital, tabung ukur, dan kawat (*sample holder*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12 di bawah ini.



**Gambar 3. 12** Alat Uji Densitas

10. Alat Uji Digital Mikroskop

Alat ini berfungsi untuk mengetahui morfologi seperti pada Gambar 3.13 di bawah ini.



**Gambar 3. 13** Alat Uji Digital Mikroskop

11. Alat uji *Flame Retardant*

Pengujian menggunakan alat uji *Flame Retardant* yang bertujuan untuk mengetahui laju bakar dari sampel seperti ditunjukkan pada Gambar 3.14 di bawah ini.



**Gambar 3. 14** Alat Uji *Flame Retardant* (Armunanto, 2015)

12. Alat uji *Hardness*

Pengujian menggunakan alat uji kekerasan komposit *shore D* yang digunakan adalah milik Laboratorium Inovasi Material Departemen Teknik Material FTIRS – ITS yang bertujuan untuk mengetahui kekerasan dari sampel seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15 di bawah ini.



**Gambar 3. 15** Alat Uji Kekerasan

### 13. *Vacuum Furnace*

Alat ini digunakan untuk proses kalsinasi serbuk hasil proses *milling*. *Vacuum furnace* yang digunakan adalah milik Laboratorium Fisika Material Departemen Teknik Material FTIRS – ITS seperti ditunjukkan pada Gambar 3.16 di bawah ini.



**Gambar 3. 16** *Vacuum Furnace*

### 3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

#### 1. Nanoselulosa

Nanoselulosa digunakan sebagai *reinforced* pada komposit. Nanoselulosa didapat dari pembelian di Blue Goose Biorefineries Inc. Canada seperti pada Gambar 3.17 di bawah ini.



**Gambar 3. 17** Nanoselulosa

#### 2. PU A dan PU B

PU A yang berupa *Polyisocyanate* dan PU B yang berupa *Polyol Compound* yang terdiri dari katalis, air, dan *Silicone Surfactant* seperti pada Gambar 3.18 di bawah ini.



**Gambar 3. 18** PU A dan PU B



3. Serbuk Barium Karbonat ( $\text{BaCO}_3$ )

Serbuk Barium Karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) merupakan bahan pembuatan Barium Heksaferit. seperti pada Gambar 3.19 di bawah ini.



**Gambar 3. 19**  $\text{BaCO}_3$

4. Serbuk Besi (III) Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Besi (III) Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) merupakan bahan pembuatan Barium Heksaferit seperti pada Gambar 3.20 di bawah ini.



**Gambar 3. 20** Serbuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

5. Serbuk Zn

Serbuk Zn merupakan bahan pembuatan Barium Heksaferit seperti pada Gambar 3.21 di bawah ini.



**Gambar 3. 21** Serbuk Zn

#### 6. Alkohol

Alkohol yang digunakan adalah *alcohol* 96% seperti pada Gambar 3.22 di bawah ini.



**Gambar 3. 22** Alkohol

### 3.4 Pengujian yang Dilakukan

Setelah spesimen komposit selesai dibuat, maka dilakukan beberapa pengujian yang terdiri dari sebagai berikut:

#### 3.4.1 Pengujian Mikroskop Digital

Pengujian Mikroskop Digital merupakan perpaduan antara mikroskop optik dengan kamera digital yang bisa menghasilkan gambar yang bisa tersimpan di dalam komputer, sehingga memudahkan penggunaanya dalam melakukan serangkaian penelitian. Mikroskop jenis ini terhubung dengan kamera yang akan menunjukkan *output* gambar pengamatan pada monitor atau proyektor. Di samping itu, mikroskop digital tidak lagi mengharuskan pengguna dalam melihat objek pengamatan langsung dengan mata melalui lensa pengamat. Mikroskop digital sudah bisa melakukan pengamatan otomatis karena gambar difokuskan pada sirkuit digital dan seluruh gambar dirancang untuk gambar monitor, bukan gambar visual mata manusia.

Mikroskop Digital memiliki fungsi untuk melakukan perbesaran pada objek kecil mikroskopik yang tidak akan mungkin terlihat oleh mata telanjang. Mikroskop ini cocok digunakan untuk penelitian di laboratorium maupun tujuan pendidikan di sekolah maupun universitas. Mikroskop digital terhubung dengan komputer, sehingga hasil pengamatan yang dilakukan bisa lebih detail.

Mikroskop Digital memiliki hasil perbesaran yang lebih besar daripada mikroskop optik jenis lainnya. Dikarenakan mikroskop digital menghasilkan gambar atau hasil pengamatan yang ditentukan oleh ukuran monitor tempat gambar ditampilkan. Selain itu, mikroskop digital sudah memiliki sumber cahaya sendiri sehingga tidak lagi membutuhkan cahaya matahari.

#### 3.4.2 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan salah satu alat pengujian material yang dapat digunakan untuk analisis kualitatif (seperti identifikasi unsur tunggal dan senyawa) maupun analisis kuantitatif (seperti penentuan komposisi, ukuran kristal, regangan, tegangan sisa, dan lain-lain). Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM D1002. XRD adalah salah satu teknik karakterisasi material yang sering digunakan untuk menganalisa senyawa dan struktur kristal suatu material. Data hasil pengujian ini berupa grafik puncak intensitas terhadap sudut 2 theta ( $2\theta$ ).



Tahapan untuk melakukan pengujian ini sebagai berikut:

1. Serbuk sampel diletakkan pada holder dan ditekan agar kompak. Supaya penembakan dengan XRD sesuai dengan yang diharapkan, oleh karena itu preparasi spesimen harus memiliki permukaan rata pada *holder*.
2. *Holder* diletakkan ke dalam mesin XRD. Setting pengukuran sudut dilakukan dengan rentang 10-90°.
3. Data tampil pada layar komputer berupa grafik horizontal dengan puncak-puncak grafik pada sudut tertentu.

Hukum *Bragg* bertujuan untuk menentukan jarak antar bidang atom dari suatu Kristal. Dengan demikian dapat mengetahui struktur kristal dari suatu material tersebut. Persamaan Hukum *Bragg* ditunjukkan pada (3.1) berikut:

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (3.1)$$

Dimana  $n$  merupakan orde difraksi, dalam bilangan bulat,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X,  $d$  merupakan jarak antar kisi kristal, dan  $\theta$  adalah sudut sinar datang.

Ukuran kristal dapat dihitung dengan menggunakan hasil XRD menggunakan Persamaan *Scherrer* (3.2), sebagai berikut:

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3.2)$$

Dimana  $\lambda$  merupakan panjang gelombang (1,54 Å) yang digunakan saat pengujian XRD,  $\beta$  merupakan setengah lebar dari puncak tertinggi (FWHM) pada hasil grafik XRD,  $\theta$  adalah sudut *Bragg*, dan  $K$  merupakan konstanta  $K$ , untuk heksaferrit adalah 0,89.

### 3.4.3 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan sesuai standar ASTM D729. Untuk menghitung massa jenis digunakan spesimen yang sama dengan spesimen absorpsi suara. Perhitungannya adalah dengan mencari *specific gravity* terlebih dahulu yaitu dengan cara ditunjukkan pada Persamaan 3.3 berikut:

$$\text{sp gr } 23/23^\circ\text{C} = a/(a + w - b) \quad (3.3)$$

Keterangan :

$a$  = masa spesimen, tanpa *wire* atau *sinker* di udara

$b$  = masa spesimen, saat tercelup semua ke dalam air atau larutan lain

sp gr = *Specific Gravity*

$w$  = masa total *sinker* atau *wire* yang tercelup

Setelah mendapat *specific gravity*, kita dapat menghitung densitas dengan perhitungan pada Persamaan 3.4 sebagai berikut:

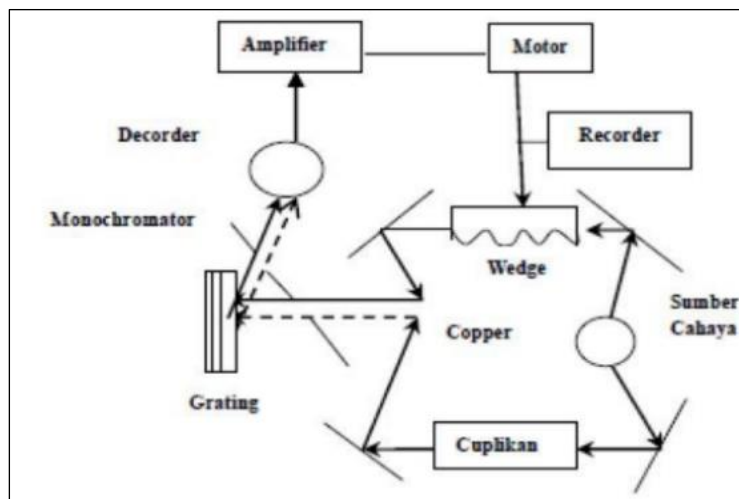
$$D^{23^\circ\text{C}}, \text{ kg/m}^3 = \text{sp gr } 23/23^\circ\text{C} \times 997.5 \quad (3.4)$$

### 3.4.4 Pengujian *Forier Transform Spectroscopy* (FTIR)

Pengujian Spektroskopi FTIR merupakan salah satu metode karakterisasi material berjenis spektroskopi vibrasi (*vibrational spectroscopy*) untuk mengidentifikasi struktur dari

molekul suatu material. Pengujian FTIR menghasilkan beberapa informasi yang dapat diperoleh yaitu mengidentifikasi materi yang tidak dikenal, menentukan kualitas atau konsistensi sampel, dan menentukan jumlah komponen dalam suatu campuran. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM E1252. Komponen utama spektroskopi FTIR adalah *Interferometer* Michelson yang mempunyai fungsi menguraikan (mendispersi) radiasi inframerah menjadi komponen-komponen frekuensi. Penggunaan *interferometer* Michelson tersebut memberikan keunggulan metode FTIR dibandingkan metode spektroskopi inframerah konvensional maupun metode spektroskopi yang lain. Diantaranya adalah informasi struktur molekul dapat diperoleh secara tepat dan akurat (memiliki resolusi yang tinggi). Keuntungan yang lain dari metode ini adalah dapat digunakan untuk mengidentifikasi sampel dalam berbagai fase (gas, padat atau cair). Kesulitan-kesulitan yang ditemukan dalam identifikasi dengan spektroskopi FTIR dapat ditunjang dengan data yang diperoleh dengan menggunakan metode spektroskopi yang lain (Harmita, 2006).

*Fourier Transform Spectroscopy* (FTIR) merupakan teknik analitik yang digunakan untuk mengidentifikasi material organik (beberapa kasus juga pada material anorganik). Teknik ini mengukur absorpsi panjang gelombang cahaya inframerah yang dipancarkan oleh material yang diuji. Pita absorpsi *infrared* ini menunjukkan struktur dan komponen molekul tertentu. Gambar 3.23 menunjukkan skema uji FTIR.



**Gambar 3. 23** Skema Uji FTIR (Satyawan & Farid, 2019)

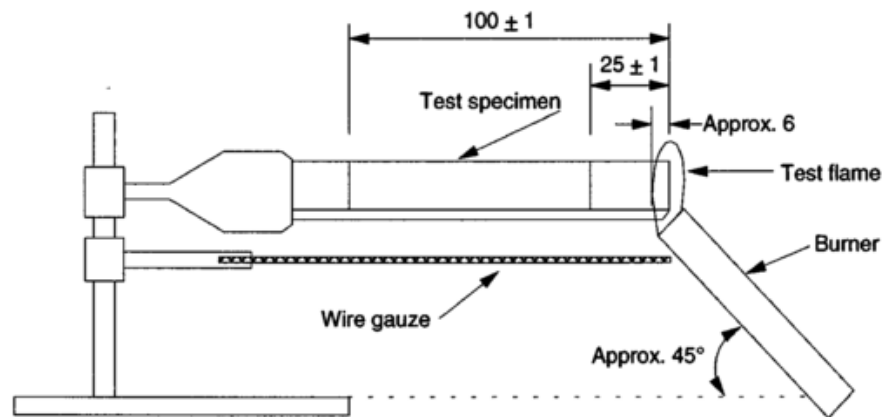
Mesin uji FTIR yang digunakan adalah Nicolet IS10 milik Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTIRS – ITS. Tahap pengujian adalah sampel diletakkan *sample holder*, kemudian *detector* didekatkan pada sampel. Pastikan sampel uji memiliki permukaan yang rata dan ketebalan yang sama.

### 3.4.5 Pengujian *Hardness*

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji kekerasan Durometer. Pada pengujian kekerasan dengan alat uji durometer menggunakan pengujian kekerasan dengan standar ASTM D2240 menggunakan indenter *durometer shore D*. Prinsip kerja yang digunakan untuk mengukur kekerasan didasarkan pada pengukuran kekuatan perlawanan dari penetrasi jarum kedalam bahan uji dibawah beban pegas. Jarum tersebut diletakkan pada bahan uji spesimen sampai rata dengan permukaan dari bahan uji spesimen yang akan diukur kekerasannya, dan bahan uji spesimen tersebut harus berada pada bidang datar agar mendapatkan hasil pengukuran yang akurat.

### 3.4.6 Pengujian Tahan Bakar (*Flame Retardant*)

Pengujian ketahanan terhadap api berguna untuk mengetahui seberapa lama material tersebut dapat bertahan pada temperatur yang tinggi sebelum terbakar habis. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ASTM D635 dengan dimensi spesimen berbentuk balok ukuran 125x13x3 mm. Material akan dibakar dari ujungnya dan dicatat berapa waktu yang dibutuhkan sampai material tersebut habis terbakar atau hingga api padam. Berikut merupakan gambar rangkaian pengujian tahan bakar dapat dilihat pada Gambar 3.24 di bawah ini.



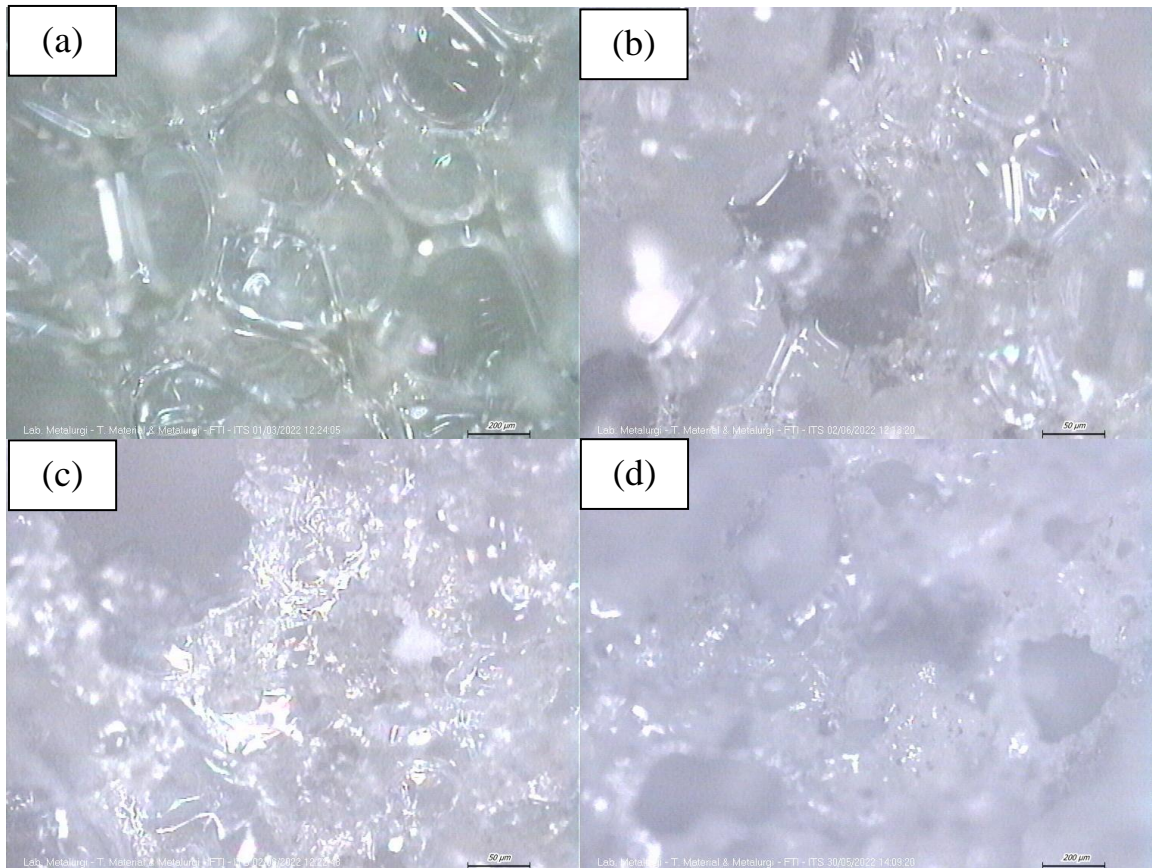
**Gambar 3. 24** Rangkaian Pengujian Tahan Bakar (Zainudin et al., 2022)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Pengujian Mikroskop Digital

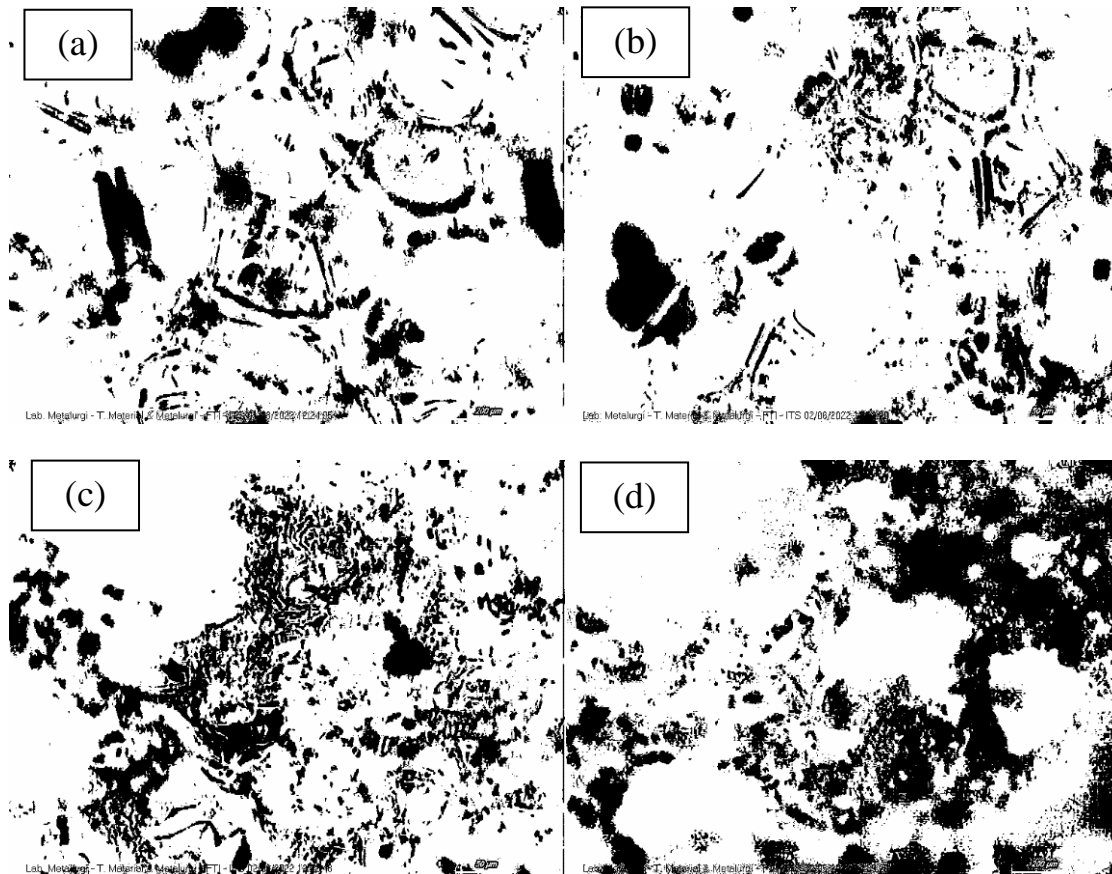
Alat Uji Digital Mikroskop (DM) adalah salah satu alat yang berguna untuk menentukan morfologi permukaan benda uji (spesimen). Pengujian dilakukan dengan perbesaran 150x. Pengujian menggunakan Mikroskop Digital pada morfologi dari poliuretan murni dan komposit berpenguat nanoselulosa dan barium M- heksaferit ditunjukkan pada Gambar 4.1 di bawah ini.



**Gambar 4. 1** Hasil Uji Digital Mikroskop dari (a) PU Murni, (b) Variasi Nanoselulosa 0% + BaM 10%, (c) Variasi Nanoselulosa 10% + BaM 10%, (d) Variasi Nanoselulosa 15% + BaM 10%

Gambar 4.1 menunjukkan hasil dari pengujian mikroskop pengujian digital mikroskop. Pada gambar 4.1 (a) pengujian digital mikroskop Poliuretan murni, (b) pengujian digital mikroskop Variasi Nanoselulosa 0% + BaM 10%, (c) pengujian digital mikroskop Variasi PU+Nanoselulosa 10% + BaM 10% dan (d) pengujian digital mikroskop Variasi PU+Nanoselulosa 15% + BaM 10%. Pada variasi penambahan nanoselulosa menyebabkan terjadinya penyebaran dan penambahan porositas. Komposit berpenguat nanoselulosa menghasilkan pori yang tampak terdeformasi secara tidak merata dan bisa diamati adanya penambahan pori. Berikut hasil *imageJ* pada pengujian digital mikroskop dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.





**Gambar 4. 2** Hasil *ImageJ* Uji Digital Mikroskop dari (a) PU Murni, (b) Variasi Nanoselulosa 0% + BaM 10%, (c) Variasi Nanoselulosa 10% + BaM 10%, (d) Variasi Nanoselulosa 15% + BaM 10%

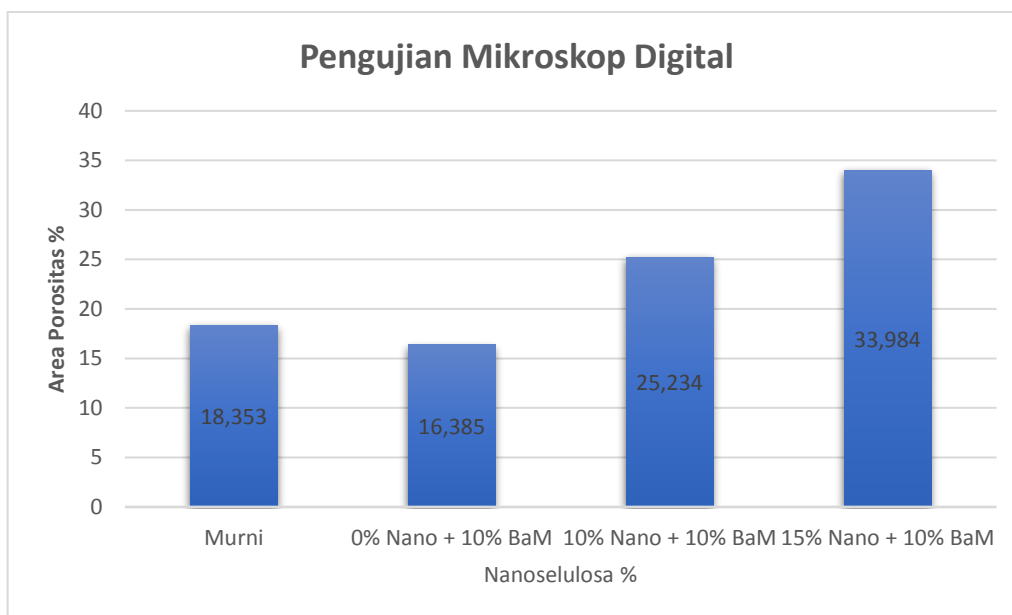
Gambar 4.2 menunjukkan hasil dari *imageJ* pada pengujian digital mikroskop. Pada Gambar 4.2 (a) adalah hasil dari *imageJ* Poliuretan murni, (b) hasil dari *imageJ* Variasi Nanoselulosa 0% + BaM 10%, (c) hasil dari *imageJ* Variasi PU+Nanoselulosa 10% + BaM 10% dan (d) hasil dari *imageJ* Variasi PU+Nanoselulosa 15% + BaM 10%. Pada Gambar 4.1 (a) terlihat bahwa pori pada poliuretan murni terlihat merata dan seragam. Gambar 4.2 (b) terlihat bahwa pori pada penambahan barium heksaferit tetap merata dan seragam tetapi porositasnya berkurang. Gambar 4.2 (c) dan (d) menunjukkan penambahan nanoselulosa menyebabkan persebaran porositas lebih besar dan menyebar saling terhubung. Pada komposit berpenguat nanoselulosa menghasilkan pori yang tampak terdeformasi secara tidak merata dan bisa diamati adanya penambahan pori. Dari hasil Pengujian Digital Mikroskop didapatkan persentase area porositas komposit Poliuretan / Barium Heksaferit / Nanoselulosa yang didapatkan dari *software ImageJ* pada fitur *analyze particle* dengan memilih *summarize* untuk menampilkan hasil persentase dari area porositas. Percobaan pada *software ImageJ* pada masing-masing variasi dari poliuretan murni hingga variasi penambahan nanoselulosa dan barium heksaferit dilakukan tiap komposit untuk mendapatkan persentase dari area porositas.

Hasil Pengujian Digital Mikroskop pada *software ImageJ* didapatkan persentase area porositas komposit Poliuretan / Barium Heksaferit / Nanoselulosa yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

**Tabel 4. 1** Persentase Area Porositas Komposit Poliuretan/Barium Heksaferit/Nanoselulosa

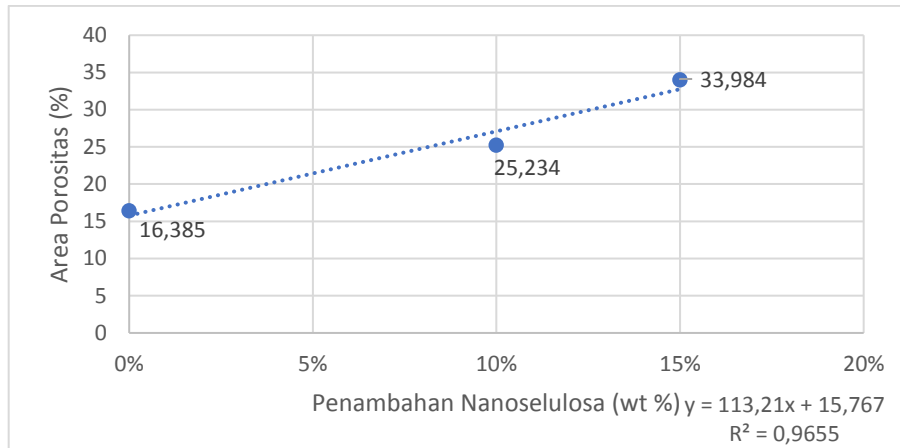
Spesimen	Area Porositas %
Poliuretan Murni	18,353
PU + Nanoselulosa 0% + BaM 10%	16,385
PU + Nanoselulosa 10% + BaM 10%	25,234
PU + Nanoselulosa 15% + BaM 10%	33,984

Pada Tabel 4.1 di atas terlihat pengaruh penambahan persentase nanoselulosa pada komposit poliuretan dengan *filler* barium heksaferit. Terlihat bahwa seiring dengan penambahan persentase nanoselulosa menyebabkan meningkatnya luas area porositas pada spesimen nanoselulosa yang diteliti, dapat terlihat persentase porositas tertinggi terdapat pada variasi komposit poliuretan dengan *filler* barium heksaferit 10% dan penambahan nanoselulosa 15% yaitu sebesar 33,984% yang didapat menggunakan konversi gambar digital mikroskop melalui *software imageJ* untuk mengetahui persentase area porositas suatu benda. Berikut pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 yang merupakan grafik dan regresi linear pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap area porositas komposit.



**Gambar 4. 3** Grafik Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Area Porositas Komposit

Pada Gambar 4.3 yang merupakan grafik pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap area porositas komposit terlihat bahwa pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap porositas komposit Poliuretan *filler* Barium M-Heksaferit membuat tren porositas komposit menjadi meningkat. Dengan nilai porositas pada spesimen Poliuretan murni ditambah 0% nanoselulosa dan 10% barium heksaferit sebesar 16,385%, Kemudian Poliuretan murni ditambah 10% nanoselulosa dan 10% barium heksaferit sebesar 25,234%, hingga Poliuretan murni ditambah 15% nanoselulosa dan 10% barium heksaferit yang meningkat menjadi 33,984%. Berikut persamaan regresi linear yang didapatkan dari grafik pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap area porositas komposit yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini.



**Gambar 4. 4** Regresi Linear Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Area Porositas

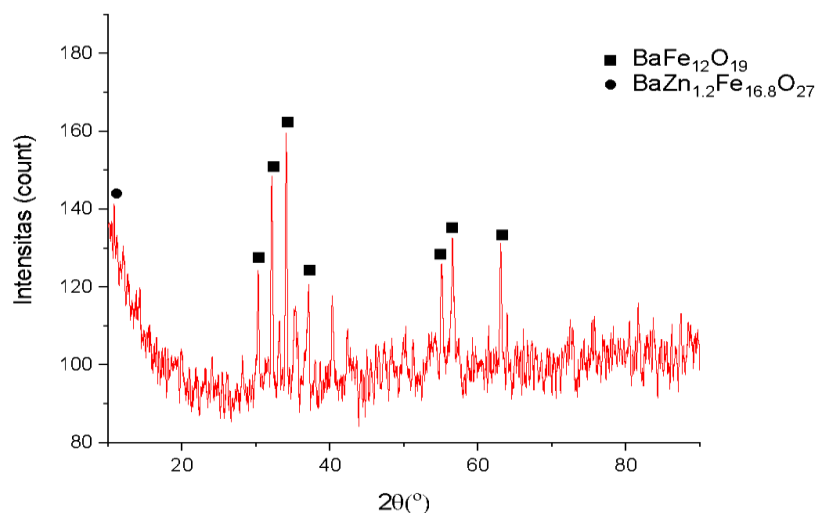
Pada Gambar 4.4 terlihat persamaan regresi linear yang didapatkan dari grafik pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap area porositas komposit adalah sebagai berikut:

$$y = 1,1321x + 15,767 \quad (4.1)$$

Dari persamaan tersebut didapatkan  $R^2$  atau koefisien determinasi sebesar 0,9655. Dengan tujuan untuk melihat pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap area porositas komposit maka dapat dilihat bahwa penambahan persentase nanoselulosa pada komposit Poliuretan / Barium Heksaferit / Nanoselulosa membuat area porositas pada komposit tersebut meningkat dengan besar pengaruh nanoselulosa adalah 0,9655 atau 96,55%. Sesuai dengan hasil observasi digital mikroskop ini, terdapat pada jurnal penelitian Sylwia Czlonka *et al.* Bahwa dengan adanya penambahan *filler* kayu atau penambahan serat kayu cenderung memodifikasi mikrostruktur porositas Poliuretan menjadi bertambah dan menjadi tidak *uniform* (Czlonka *et al.*, 2021).

#### 4.2. Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) Barium M-Heksaferit

Berdasarkan pengujian XRD yang dilakukan, pola XRD untuk serbuk BaM *Dopping* Zn ditunjukkan pada Gambar 4.5 di bawah ini.



**Gambar 4. 5** Pola XRD Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn



Pada Gambar 4.5 menunjukkan pola XRD Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn dari hasil uji XRD pada sampel yang dibuat pada penelitian saat ini. Terlihat bahwa hasil uji XRD menunjukkan pola grafik pada sampel Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn. Hasil uji XRD menunjukkan terbentuknya fasa utama yang mengindikasikan terbentuknya fasa BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> (Ref. Code 00-039-1433). Besar ukuran kristal pada barium heksaferit dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

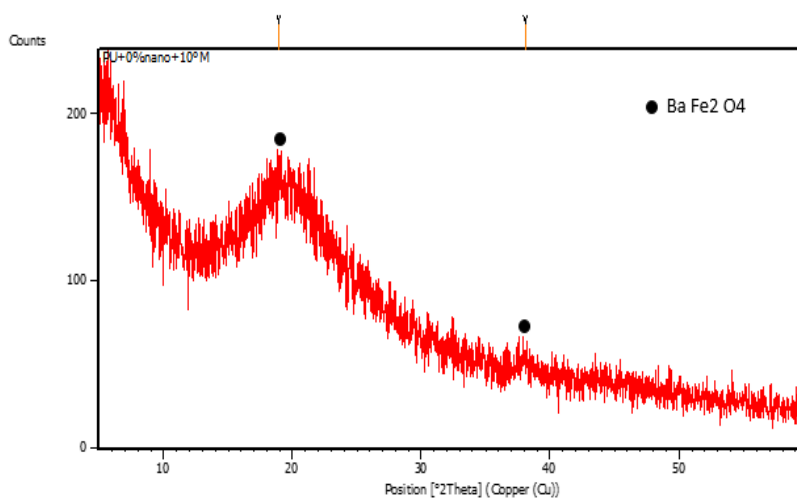
**Tabel 4. 2** Ukuran Kristal Barium Heksaferit pada 3 *Peak* Tertinggi

Sudut 2θ	K (konstanta)	λ (nm)	FWHM (radian)	Ukuran Kristal (nm)
32.0465	0.9	1.54	0.2342	35.292
34.0824	0.9	1.54	0.2007	41.400
63.0585	0.9	1.54	0.2342	39.795

Pada grafik pola XRD Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn pada sampel penelitian terdahulu oleh (Satyawati & Farid, 2019) menunjukkan terdapat 3 *peak* tertinggi pada posisi 2-theta yang menunjukkan terbentuknya fasa utama BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> yaitu pada *peak* 34.1357° dengan indeks miller 114, pada *peak* 32.0253° dengan indeks miller 107, dan pada *peak* 63.0808° dengan indeks miller 220. Sedangkan pada grafik pola XRD Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn pada sampel penelitian kali ini juga menunjukkan terdapat 3 *peak* tertinggi pada posisi 2-theta yang menunjukkan terbentuknya fasa utama BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> yaitu pada *peak* 34.0824° dengan indeks miller 114, pada *peak* 32.0465° dengan indeks miller 107, dan pada *peak* 63.0585° dengan indeks miller 220.

Dari grafik pola XRD Barium M-Heksaferit dan dari posisi 2-theta pada 3 *peak* tertinggi pada kedua sampel diatas menunjukkan bahwa pada sampel Barium M-Heksaferit pada penelitian kali ini memiliki posisi 3 *peak* tertinggi dengan fasa BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> pada 2-theta yang menunjukkan posisi *peak* yang hampir sama dengan posisi 3 *peak* tertinggi pada sampel penelitian terdahulu sehingga menunjukkan bahwa pada penelitian kali ini juga menunjukkan terbentuknya Barium M-Heksaferit dengan *Dopping* Zn. Karena terbentuknya barium heksaferit maka material ini memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai material yang mampu menyerap gelombang elektromagnetik.

Berikut merupakan hasil pengujian XRD pada Variasi Poliuretan Murni + Nanoselulosa 0% + BaM 10% ditunjukkan pada Gambar 4.6 di bawah ini.



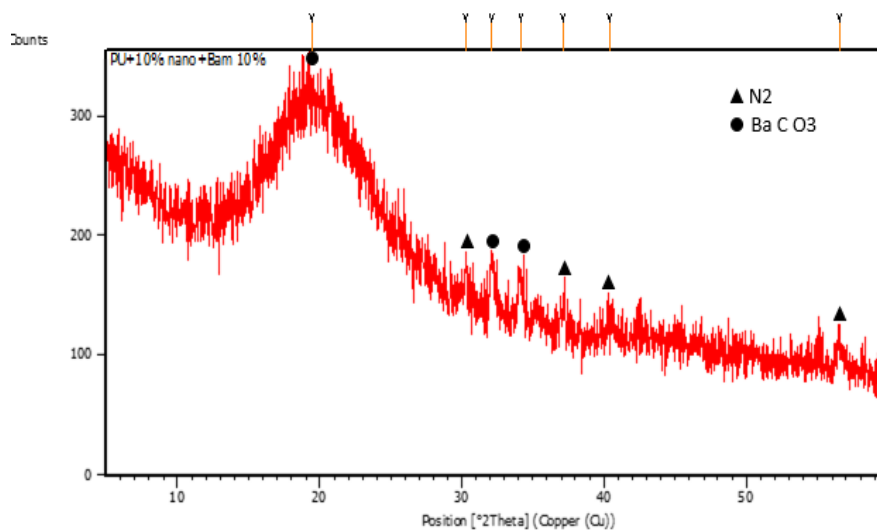
**Gambar 4. 6** Gambar Hasil Uji XRD dari Variasi Nanoselulosa 0% + BaM 10%

Pada Gambar 4.6 menunjukkan pola XRD Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn dari hasil uji XRD pada *software X-Pert HighScore Plus* dengan menggunakan sampel yang dibuat pada penelitian saat ini. Terlihat bahwa hasil uji XRD menunjukkan terbentuknya fasa utama yang mengindikasikan terbentuknya fasa  $BaFe_2O_4$  (Ref. Code 00-044-0897). Besar ukuran kristal pada barium heksaferit dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

**Tabel 4. 3** Ukuran Kristal Barium Heksaferit Variasi Nanoselulosa 0% pada 2 Peak Tertinggi

Sudut 2 $\theta$	K (konstanta)	$\lambda$ (nm)	FWHM (radian)	Ukuran Kristal (nm)
18.9232	0.9	1.54	0.0900	89.487
38.0705	0.9	1.54	0.0900	93.375

Pada grafik pola XRD Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn pada sampel penelitian terdahulu oleh (Satyawan & Farid, 2019) menunjukkan terdapat 2 *peak* tertinggi pada posisi 2-theta yang menunjukkan terbentuknya fasa utama  $BaFe_2O_4$  yaitu pada *peak*  $18.9232^\circ$  dengan indeks miller 100 dan pada *peak*  $38.0705^\circ$  dengan indeks miller 200. Berikut merupakan hasil pengujian XRD pada Variasi Poliuretan Murni + Nanoselulosa 10% + BaM 10% ditunjukkan pada Gambar 4.7 di bawah ini.



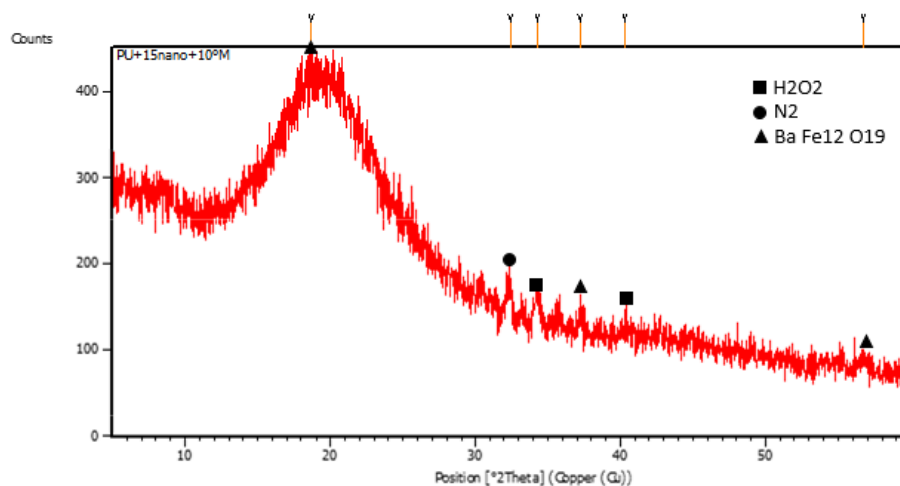
**Gambar 4. 7** Gambar Hasil Uji XRD dari Variasi Nanoselulosa 10% + BaM 10%

Pada Gambar 4.7 menunjukkan pola XRD Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn dari hasil uji XRD pada *software X-Pert HighScore Plus* dengan menggunakan sampel yang dibuat pada penelitian saat ini. Terlihat bahwa hasil uji XRD menunjukkan terbentuknya fasa utama yang mengindikasikan terbentuknya fasa  $BaCO_3$  (Ref. Code 00-001-0506). Besar ukuran kristal pada barium heksaferit dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

**Tabel 4. 4** Ukuran Kristal Barium Heksaferit Variasi Nanoselulosa 10% pada 3 Peak Tertinggi

Sudut 2 $\theta$	K (konstanta)	$\lambda$ (nm)	FWHM (radian)	Ukuran Kristal (nm)
19.4049	0.9	1.54	0.0900	89.550
32.1332	0.9	1.54	0.2676	30.893
34.1799	0.9	1.54	0.4015	20.700

Pada grafik pola XRD Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn pada sampel penelitian terdahulu oleh (Satyawan & Farid, 2019) menunjukkan terdapat 3 *peak* tertinggi pada posisi 2-theta yang menunjukkan terbentuknya fasa utama BaCO<sub>3</sub> yaitu pada *peak* 19.4049° dengan indeks miller 101, pada *peak* 32.1332° dengan indeks miller 012 dan pada *peak* 34.1799° dengan indeks miller 022. Berikut merupakan hasil pengujian XRD pada Variasi Poliuretan Murni + Nanoselulosa 15% + BaM 10% ditunjukkan pada Gambar 4.8 di bawah ini.



**Gambar 4. 8** Gambar Hasil Uji XRD dari Variasi Nanoselulosa 15% + BaM 10%

Pada Gambar 4.8 menunjukkan pola XRD Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn dari hasil uji XRD pada *software* X-Pert HighScore Plus dengan menggunakan sampel yang dibuat pada penelitian saat ini. Terlihat bahwa hasil uji XRD menunjukkan terbentuknya fasa utama yang mengindikasikan terbentuknya fasa BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> (Ref. Code 00-039-1433). Besar ukuran kristal pada barium heksaferit dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

**Tabel 4. 5** Ukuran Kristal Barium Heksaferit Variasi Nanoselulosa 15% pada 3 Peak Tertinggi

Sudut 2θ	K (konstanta)	λ (nm)	FWHM (radian)	Ukuran Kristal (nm)
18.6823	0.9	1.54	0.0900	89.456
37.2456	0.9	1.54	0.4015	20.879
56.7248	0.9	1.54	0.5353	16.865

Pada grafik pola XRD Barium M-Heksaferit *Dopping* Zn pada sampel penelitian terdahulu oleh (Satyawan & Farid, 2019) menunjukkan terdapat 3 *peak* tertinggi pada posisi 2-theta yang menunjukkan terbentuknya fasa utama BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> yaitu pada *peak* 18.6823° dengan indeks miller 100, pada *peak* 37.2456° dengan indeks miller 201 dan pada *peak* 56.7248° dengan indeks miller 212.

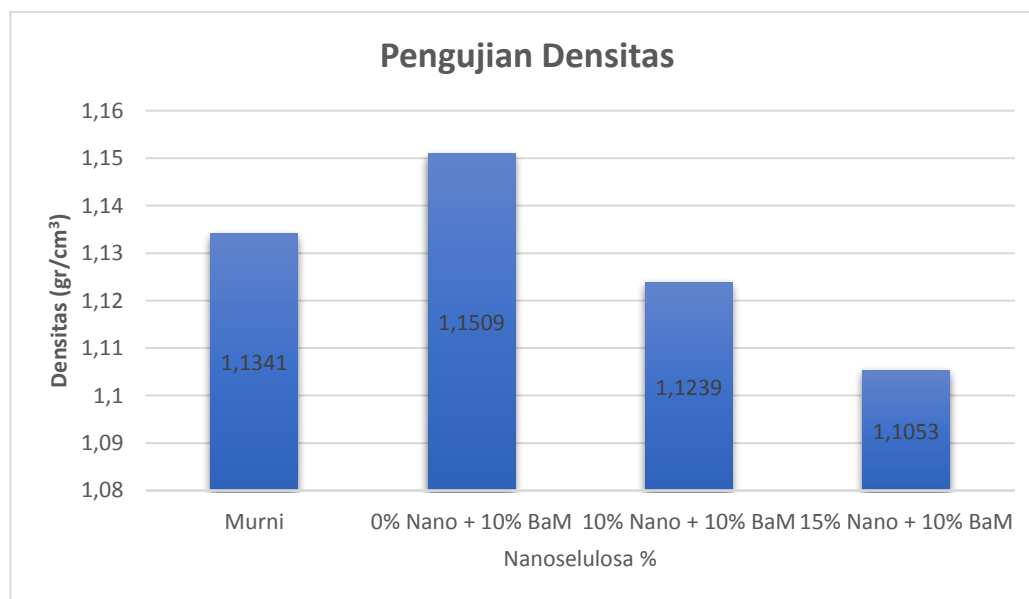
#### 4.3. Hasil Pengujian Densitas

Alat uji Densitas digunakan dalam mengetahui Densitas pada material komposit dengan menggunakan ASTM D792 sebagai standar pengujian dengan menggunakan media air. Pengujian Densitas dilakukan di Laboratorium Fisika Material Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Didapat data yang menunjukkan nilai Densitas pada komposit Poliuretan dengan *filler* Barium M-Heksaferit dan Nanoselulosa seperti pada Tabel 4.6 di bawah ini.

**Tabel 4. 6** Hasil Pengujian Densitas

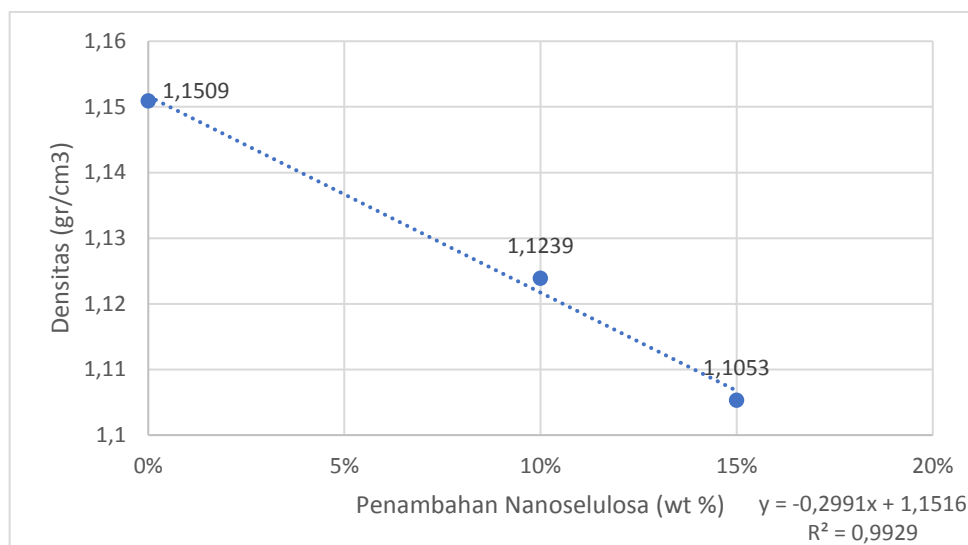
Spesimen	Average Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
PU Murni	1,1341 ± 0,021
PU+Nanoselulosa0%+Bam10%	1,1509 ± 0,020
PU+Nanoselulosa10%+Bam10%	1,1239 ± 0,0156
PU+Nanoselulosa15%+Bam10%	1,1053 ± 0,0145

Dari hasil pengujian densitas didapatkan rata-rata nilai densitas dengan spesimen Poliuretan murni, Poliuretan murni ditambah nanoselulosa 0% dan Barium Heksaferit 10%, Poliuretan murni ditambah nanoselulosa 10% dan Barium Heksaferit 10%, dan Poliuretan murni ditambah nanoselulosa 15% dan Barium Heksaferit 10%. Didapatkan nilai densitas seperti pada Tabel 4.6 dengan nilai Densitas pada Poliuretan murni sebesar 1,1341 gr/cm<sup>3</sup>, pada PU+Nanoselulosa0%+Bam10% sebesar 1,1509 gr/cm<sup>3</sup>, pada PU+Nanoselulosa10%+Bam10% sebesar 1,1239 gr/cm<sup>3</sup>, sedangkan pada PU+Nanoselulosa15%+Bam10% sebesar 1,1053 gr/cm<sup>3</sup>. Berikut merupakan grafik pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap densitas komposit dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini.



**Gambar 4. 9** Grafik Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Densitas Komposit

Pada Gambar 4.9 terlihat bahwa pengaruh penambahan Barium M-Heksaferit terhadap densitas komposit membuat densitas komposit menjadi bertambah dan membuat komposit variasi PU+Nanoselulosa0%+Bam10% menjadi Densitas tertinggi sebesar 1,1509 gr/cm<sup>3</sup>. Sedangkan pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap densitas komposit membuat densitas komposit menjadi menurun, dari variasi nanoselulosa 0% dengan densitas 1,1509 menjadi turun pada penambahan nanoselulosa 10% dengan densitas 1,1239 yang kemudian menjadi turun lagi pada penambahan nanoselulosa 15% dengan densitas 1,1053. Hal ini disebabkan karena densitas Barium-M Heksaferit lebih besar dari densitas matrik komposit tersebut yaitu poliuretan. Berikut regresi linear pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap densitas dapat terlihat pada Gambar 4.10 di bawah ini.



**Gambar 4. 10** Regresi Linear Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Densitas Komposit

Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa pengaruh penambahan Nanoselulosa terhadap Densitas komposit membuat tren Densitas komposit menjadi menurun dan membuat komposit variasi PU+Nanoselulosa15%+Bam10% menjadi Densitas terendah sebesar 1,1053 gr/cm<sup>3</sup>. Hal ini disebabkan karena densitas nanoselulosa lebih kecil dari densitas matrik komposit tersebut yaitu poliuretan. Persamaan regresi linear yang didapatkan dari grafik densitas komposit adalah sebagai berikut:

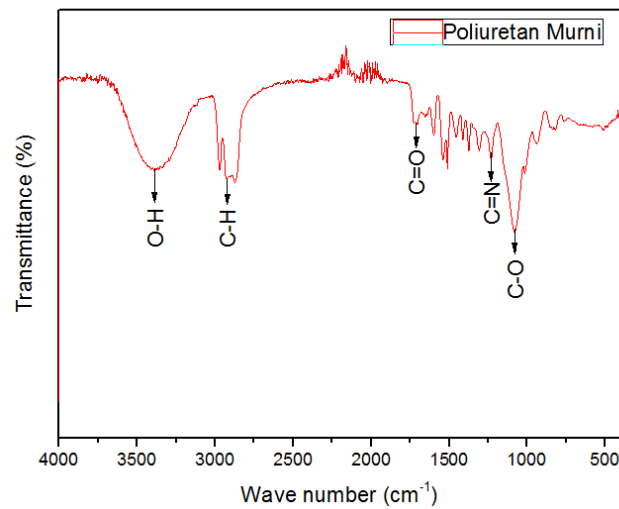
$$y = -0,2991x + 1,1516 \quad (4.1)$$

Dari persamaan tersebut didapatkan R<sup>2</sup> atau koefisien determinasi sebesar 0,9929. Dengan tujuan untuk melihat pengaruh penambahan Nanoselulosa terhadap Densitas komposit maka dapat dilihat bahwa penambahan Nanoselulosa sebagai *filler* pada komposit PU + Barium M-Heksaferit + Nanoselulosa membuat Densitas pada komposit tersebut menurun dengan besar pengaruh Nanoselulosa adalah 0,9929 atau 99,29%.

Penambahan nanoselulosa sebagai *filler* mengakibatkan meningkatnya area porositas pada komposit menurut (Shastri & M. Stevens, 2008), jumlah void yang banyak akan mengakibatkan jumlah gas dalam void akan bertambah. Gas ini mempunyai kekuatan mekanik dari *foam* tersebut. Karena pada saat proses sintesis, poliuretan mengembang dengan volume tertentu dan semakin mengembang akan semakin banyak void dan gas.

#### 4.4. Hasil Pengujian *Forier Transform Spectroscopy* (FTIR)

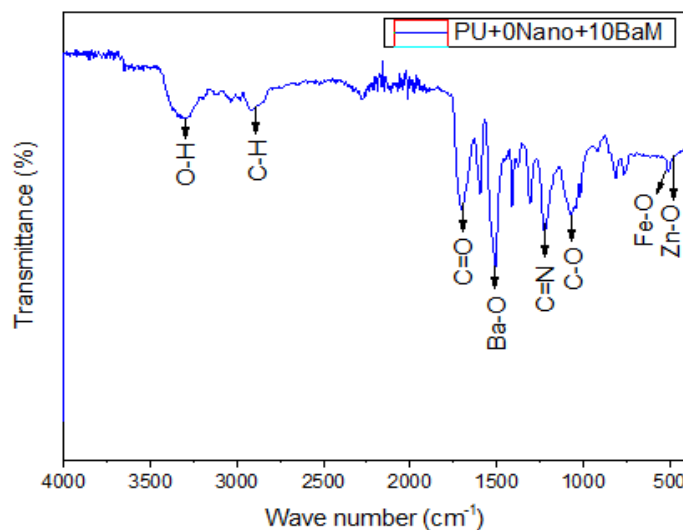
Komposit pada pengujian *Forier Transform Spectroscopy* penelitian ini adalah komposit poliuretan/nanoselulosa/barium heksaferit. Hasil pengujian *Forier Transform Spectroscopy* diproses menggunakan aplikasi *Origin* dengan rentang *wavenumber* dari 4000 cm<sup>-1</sup> sampai 400 cm<sup>-1</sup> untuk diketahui nilai *peak* dan dapat ditentukan gugus fungsi dari hasil *peak analyzer preview* tersebut. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil data yang menunjukkan representasi ikatan dari Poliuretan Murni yang dapat dilihat seperti pada Gambar 4.11 di bawah ini.



**Gambar 4. 11** Representasi Ikatan dari Poliuretan Murni

Gambar 4.11 menunjukkan hasil karakterisasi terhadap poliuretan murni terlihat adanya *noise* disekitar *peak*  $2000\text{ cm}^{-1}$  yang disebabkan oleh kuantitas uap air atau kelembapan di udara yang berfluktuasi dikarenakan oleh perubahan lingkungan dan juga *impurities*. Terlihat pada bilangan gelombang  $3394\text{ cm}^{-1}$  teridentifikasi adanya vibrasi regang ikatan O-H dan pada bilangan gelombang  $2906\text{ cm}^{-1}$  terjadi penyerapan gelombang C-H (Mistry, 2009). Ikatan O-H dan C-H merupakan gugus kimia yang terdapat pada poliuretan, dimana gugus kimia ini terbentuk karena reaksi antara *polyphenyl isocyanate* dan *polypropylene glycol*.

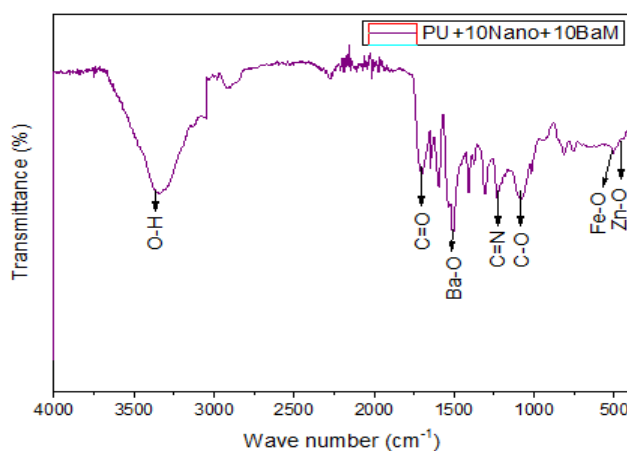
Terlihat juga pada bilangan gelombang  $1700\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan daerah serapan ulur C=O berikatan hidrogen, lalu pada bilangan gelombang  $1720\text{ cm}^{-1}$  adalah daerah serapan khas dari gugus uretan (-NHCOO-) pada material poliuretan, bilangan gelombang  $1231\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan daerah serapan C=N, dan pada bilangan gelombang  $1081\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan daerah serapan ulur C-O. Spektrum FTIR poliuretan hasil sintesis dibandingkan dengan data referensi (Rohaeti et al., 2000) pita-pita serapan pada daerah yang hampir sama terutama pada daerah pita serapan karakteristik poliuretan. Berikut representasi ikatan dari komposit Poliuretan *filler* Barium M-Heksaferit 10% dapat dilihat pada Gambar 4.12 di bawah ini.



**Gambar 4. 12** Representasi Ikatan dari Komposit Poliuretan *filler* Barium M-Heksaferit 10%

Pada Gambar 4.12 menunjukkan hasil representasi ikatan dari komposit poliuretan dengan penambahan 10% Barium M-Heksaferit terlihat pada bilangan gelombang  $3298\text{ cm}^{-1}$  teridentifikasi adanya vibrasi regang ikatan O-H. Puncak bilangan gelombang  $2908\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C-H, puncak bilangan gelombang  $1700\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C=O, puncak bilangan gelombang  $1222\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C=N, puncak bilangan gelombang  $1071\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C-O. Selain itu, terlihat puncak bilangan gelombang  $1508\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan Ba-O yang pernyataan bilangan gelombang dengan puncak antara  $1000\text{-}1800\text{ cm}^{-1}$  merupakan karakteristik dari ikatan Ba-O dimana ikatan tersebut merupakan ikatan penyusun Barium M-Heksaferit (Dwi Pangga, 2011).

Pada puncak bilangan gelombang  $509\text{ cm}^{-1}$  teridentifikasi adanya ikatan logam Fe-O yang merupakan fasa Barium M-Heksaferit, hal ini sesuai dengan karakteristik pada getaran yang lebih rendah dari  $800\text{ cm}^{-1}$  yang dapat dikenal sebagai ikatan logam oksigen dalam campuran dimana pernyataan ini senada bahwa karakteristik getaran pada rentang antara  $415\text{ -}570\text{ cm}^{-1}$  adalah karakteristik pada ikatan logam oksigen yang merupakan karakteristik dari Barium M-Heksaferit (Durmus, 2014). Selain pengaruh karakteristik struktur dan komposisi unsur, dengan adanya penambahan *dopping* Zn untuk pembuatan Barium M-Heksaferit berpengaruh juga pada vibrasi gugus fungsi, karakter serapan sinar, serta *band gap energy* pada komposit Poliuretan *filler* Barium M-Heksaferit terlihat pada bilangan gelombang  $447\text{ cm}^{-1}$  terdapat vibrasi regangan Zn-O (Zhao et al., 2014). Berikut representasi ikatan dari komposit Poliuretan *filler* Barium M-Heksaferit 10% dengan penambahan nanoselulosa 10% dapat dilihat pada Gambar 4.13 di bawah ini.



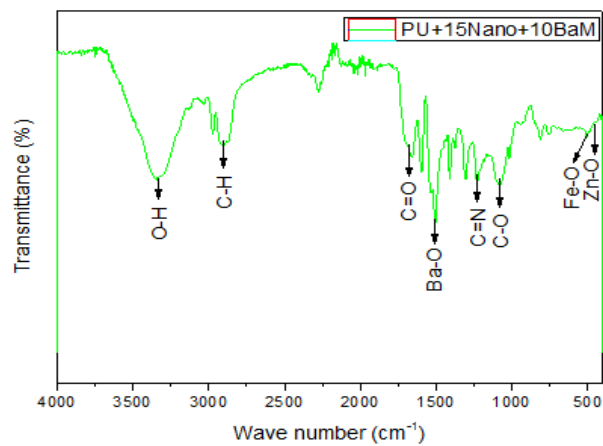
**Gambar 4. 13** Representasi Ikatan dari Komposit Poliuretan *filler* Barium M-Heksaferit 10% dengan penambahan Nanoselulosa 10%

Pada saat penambahan nanoselulosa yang ditunjukkan Gambar 4.13 terlihat dalam representasi ikatannya mengalami perubahan, dimana area bilangan gelombang  $3350\text{ cm}^{-1}$  pada puncak serapan adalah puncak serapan ikatan vibrasi regang O-H berupa gugus alkohol dimana mengalami pengerucutan yang disebabkan oleh gugus asam dan alkohol yang ada pada Nanoselulosa (L. Triyasititi., 2018), diketahui ikatan kimia O-H ini merupakan ciri khas dari gugus Nanoselulosa. Puncak bilangan gelombang  $1700\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C=O, puncak bilangan gelombang  $1229\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C=N, puncak bilangan gelombang  $1080\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C-O. Selain itu, terlihat puncak bilangan gelombang  $1507\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan Ba-O dimana pernyataan bilangan gelombang dengan puncak antara  $1000\text{-}1800\text{ cm}^{-1}$  merupakan karakteristik



dari ikatan Ba-O dimana ikatan tersebut merupakan ikatan penyusun Barium M-Heksaferit (Dwi Pangga, 2011).

Pada puncak bilangan gelombang  $538\text{ cm}^{-1}$  teridentifikasi adanya ikatan logam Fe-O yang merupakan fasa Barium M-Heksaferit, hal ini sesuai dengan karakteristik pada getaran yang lebih rendah dari  $800\text{ cm}^{-1}$  yang dapat dikenal sebagai ikatan logam oksigen dalam campuran dimana pernyataan ini senada bahwa karakteristik getaran pada rentang antara  $415 - 570\text{ cm}^{-1}$  adalah karakteristik pada ikatan logam oksigen yang merupakan karakteristik dari Barium M-Heksaferit (Durmus, 2014). Penambahan *dopping* Zn pada Barium M-Heksaferit terlihat pada bilangan gelombang  $442\text{ cm}^{-1}$  terdapat vibrasi regangan Zn-O (Zhao et al., 2014). Berikut representasi ikatan dari komposit Poliuretan *filler* Barium M-Heksaferit 10% dengan penambahan nanoselulosa 10% dapat dilihat pada Gambar 4.14 di bawah ini.



**Gambar 4. 14** Representasi Ikatan dari Komposit Poliuretan *filler* Barium M-Heksaferit 10% dengan penambahan Nanoselulosa 15%

Terlihat pada Gambar 4.14 bahwa dengan adanya penambahan Nanoselulosa 15% pada komposit Poliuretan *filler* Barium M-Heksaferit representasi ikatan dan bilangan gelombang tidak jauh berbeda dengan variasi penambahan 10% Nanoselulosa ditunjukkan dengan bilangan gelombang  $3336\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan puncak serapan vibrasi regangan ikatan O-H dimana semakin tajamnya puncak serapan gugus O-H ini disebabkan oleh adanya gugus asam dan alkohol yang terdapat pada Nanoselulosa juga ciri khas dari gugus Nanoselulosa (L. Triyasititi., 2018). Puncak bilangan gelombang  $2904\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C-H, puncak bilangan gelombang  $1698\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C=O, puncak bilangan gelombang  $1229\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C=N, puncak bilangan gelombang  $1080\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan karakteristik ikatan C-O. Selain itu terlihat puncak bilangan gelombang  $1507\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan dimana karakteristik ikatan Ba-O dimana pernyataan bilangan gelombang dengan puncak antara  $1000-1800\text{ cm}^{-1}$  merupakan karakteristik dari ikatan Ba-O dimana ikatan tersebut merupakan ikatan penyusun Barium M-Heksaferit (Dwi Pangga, 2011). Pada puncak bilangan gelombang  $523\text{ cm}^{-1}$  teridentifikasi adanya ikatan logam Fe-O yang merupakan fasa Barium M-Heksaferit, hal ini sesuai dengan karakteristik pada getaran yang lebih rendah dari  $800\text{ cm}^{-1}$  yang dapat dikenal sebagai ikatan logam oksigen dalam campuran dimana pernyataan ini senada bahwa karakteristik getaran pada rentang antara  $415 - 570\text{ cm}^{-1}$  adalah karakteristik pada ikatan logam oksigen yang merupakan karakteristik dari Barium M-Heksaferit (Durmus, 2014). Penambahan *dopping* Zn pada Barium M-Heksaferit terlihat pada bilangan gelombang  $447\text{ cm}^{-1}$  terdapat vibrasi regangan Zn-O (Zhao et al., 2014).



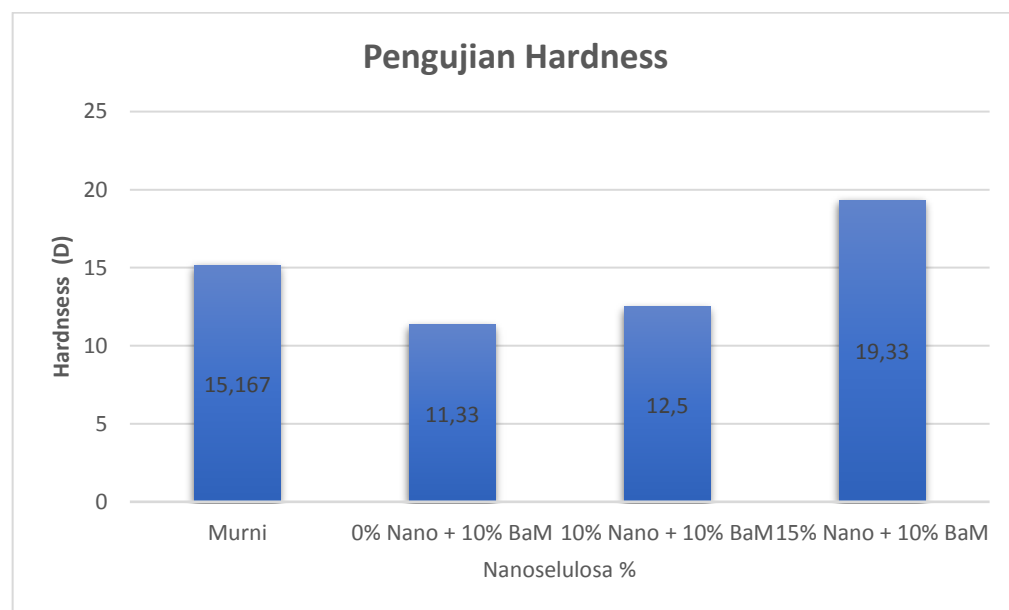
#### 4.5. Hasil Pengujian *Hardness*

Alat uji *hardness* digunakan dalam mengetahui *hardness* (uji kekerasan) pada material komposit dengan menggunakan *Durometer shore D* sebagai standar pengujian didapat data pada Tabel 4.7 di bawah ini.

**Tabel 4. 7** Hasil Pengujian *Hardness*

Spesimen	Average <i>Hardness</i> ( <i>Shore D</i> )
PU Murni	15,167 ±0,289
PU+Nanoselulosa0%+Bam10%	11,33 ±0,577
PU+Nanoselulosa10%+Bam10%	12,5 ±3,122
PU+Nanoselulosa10%+Bam10%	19,33 ±1,155

Pada Tabel 4.7 diketahui nilai *hardness* pada PU murni sebesar 15,167 D, pada PU+Nanoselulosa0%+Bam10% sebesar 11,33 D, pada PU+Nanoselulosa10%+Bam10% sebesar 12,5 D, pada PU+Nanoselulosa15%+Bam10% sebesar 19,33 D. Berikut merupakan grafik pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap *hardness* dapat dilihat pada Gambar 4.15 di bawah ini.



**Gambar 4. 15** Grafik Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap *Hardness*

Pada Gambar 4.15 terlihat bahwa pengaruh penambahan Barium M-Heksaferit terhadap *hardness* komposit membuat *hardness* komposit menjadi menurun dan membuat komposit variasi PU+Nanoselulosa0%+Bam10% menjadi *hardness* terkecil sebesar 11,33 D tanpa penambahan nanoselulosa. Terlihat bahwa pengaruh penambahan Nanoselulosa terhadap *hardness* komposit membuat *hardness* komposit menjadi meningkat dan membuat komposit variasi PU+Nanoselulosa10%+Bam10% mempunyai nilai *hardness* sebesar 12,5 D. Komposit variasi PU+Nanoselulosa15%+Bam10% mempunyai nilai *hardness* sebesar 19,33 D dan membuat komposit dengan variasi persentase nanoselulosa yang bertambah menjadikan komposit variasi ini mempunyai nilai *hardness* terbesar. Hal ini disebabkan karena penambahan nanoselulosa sangat meningkatkan sifat mekanik pada penerapan komposit salah satunya sifat

*hardness* pada komposit Poliuretan/Barium M-Heksaferit (SS Rana, 2021). Penambahan nanoselulosa sebagai *filler* mengakibatkan jumlah void yang banyak akan mengakibatkan jumlah gas dalam void akan bertambah. Gas ini mempunyai kekuatan mekanik dari *foam* tersebut. Karena pada saat proses sintesis, poliuretan mengembang dengan volume tertentu dan semakin mengembang akan semakin banyak void dan gas sehingga meningkatkan sifat mekanik komposit (Shastri & M. Stevens, 2008). Peningkatan nilai *hardness* pada komposit Poliuretan/Barium M-Heksaferi/Nanoselulosa ini mengakibatkan pengembangan material komposit ini bisa dilakukan dan diterapkan pada kehidupan nyata dimana material dengan *hardness shore D* sering digunakan untuk penerapan bahan pelapis otomotif.

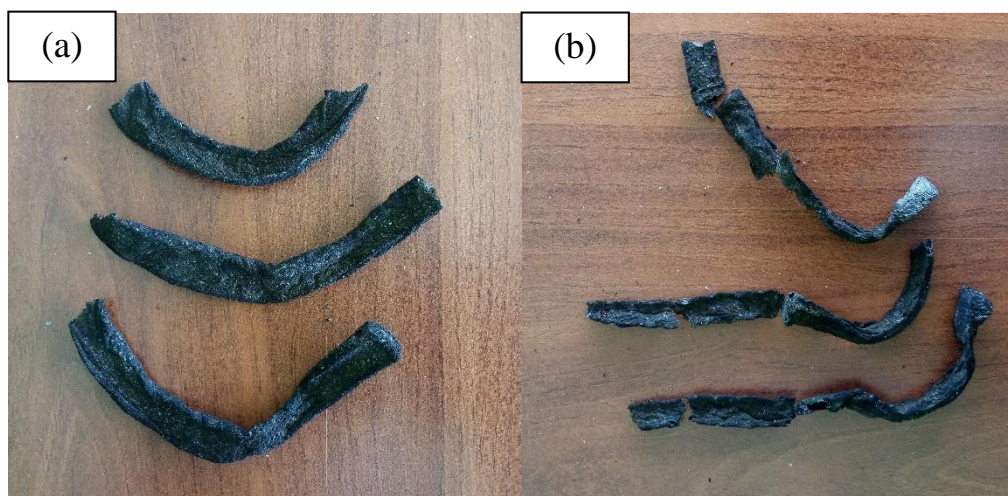
#### 4.6. Hasil Pengujian *Flame Retardant*

Alat uji *Flame Retardant* adalah salah satu alat untuk membantu pengujian tahan bakar pada material uji. Pengujian dilakukan dengan menggunakan ASTM 673 sebagai standar pengujian, preparasi spesimen dilakukan sesuai standar pengujian seperti pada Gambar 4.16 di bawah ini.



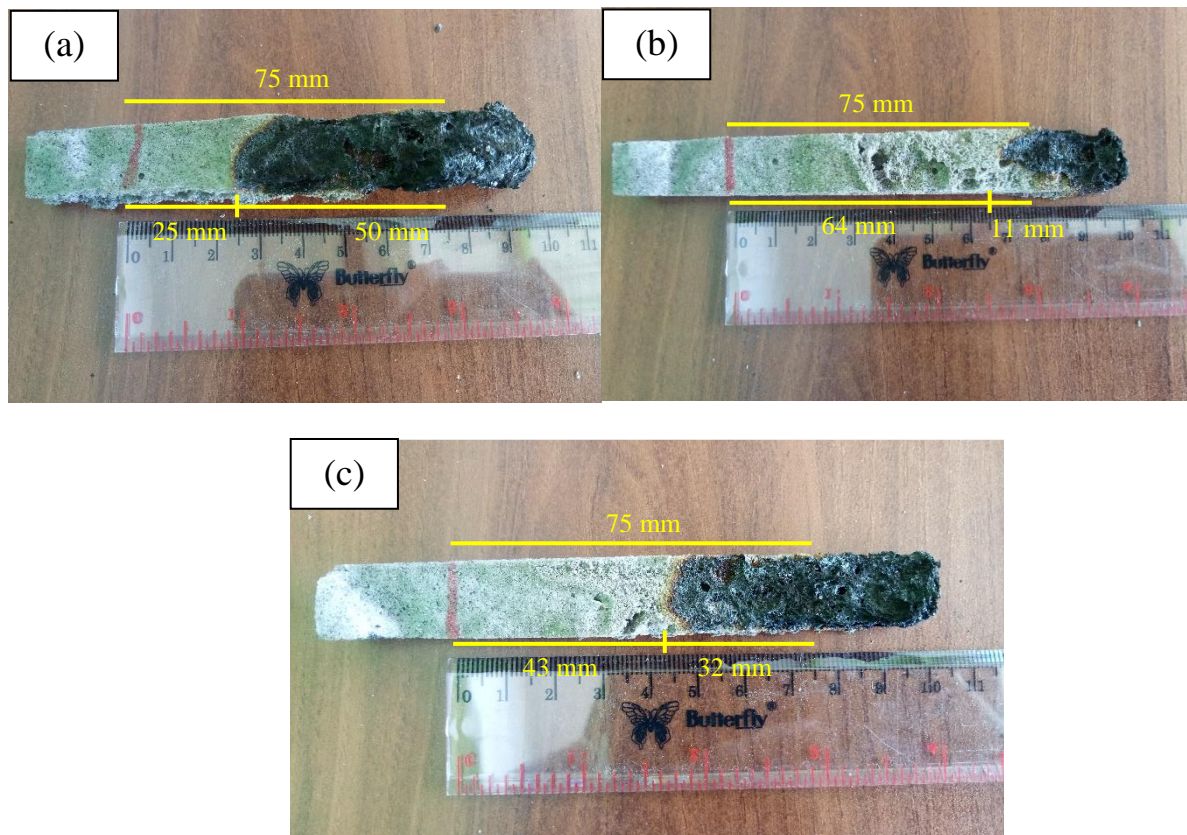
Gambar 4. 16 Spesimen *Flame Retardant*

Berdasarkan hasil pengujian *Flame Retardant* di atas dengan menggunakan tiga kali pengujian pada tiap variasi spesimen dapat terlihat perbedaan laju bakar pada tiap variasi material penyusunnya. Berikut merupakan hasil pengujian *Flame Retardant* dengan 3 variasi spesimen Poliuretan Murni dan 3 variasi Poliuretan Murni ditambah 0% Nanoselulosa dan 10% Barium Heksaferit yang masing-masing dari ketiga variasi habis terbakar ditunjukkan pada Gambar 4.17 di bawah ini.



Gambar 4. 17 Pengujian *Flame Retardant* dari (a) PU Murni, (b) Variasi Nanoselulosa 0% + BaM 10%

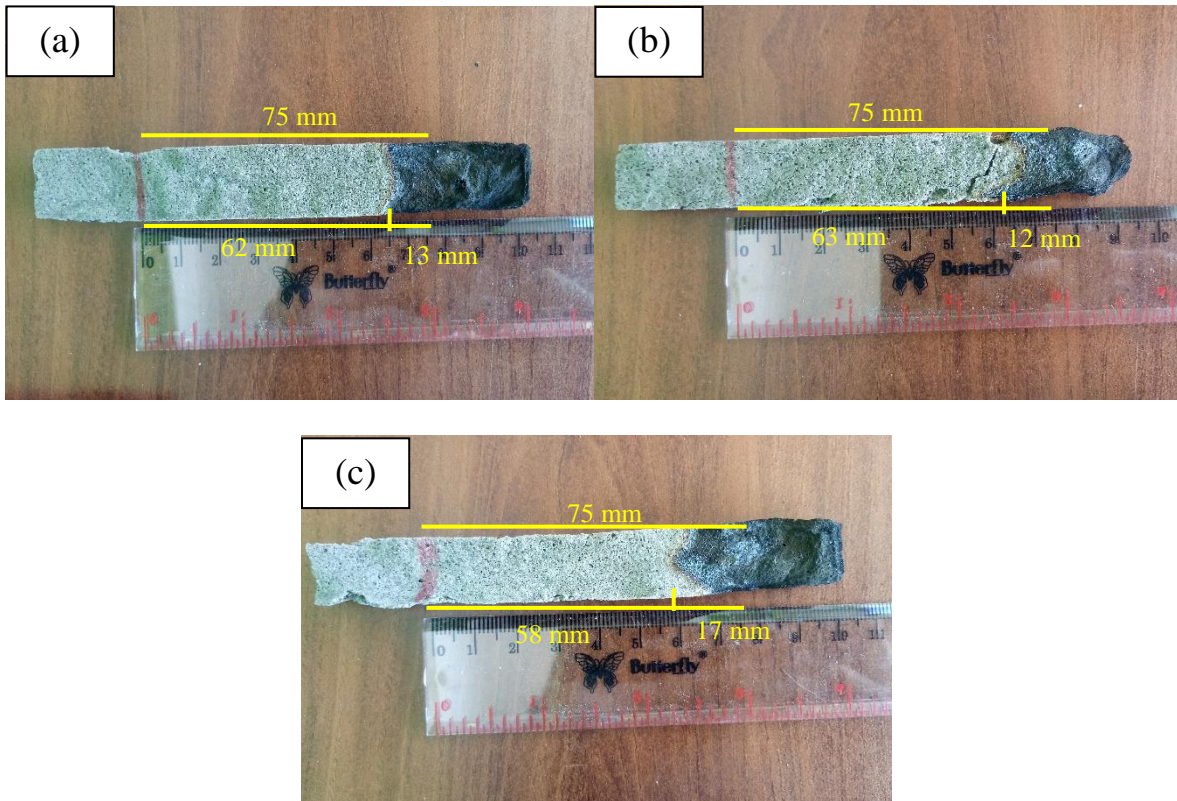
Berdasarkan hasil pengujian *Flame Retardant* di atas dengan menggunakan tiga kali pengujian pada tiap variasi spesimen dapat terlihat perbedaan laju bakar pada tiap variasi material penyusunnya. Berikut hasil pengujian *Flame Retardant* dengan 3 variasi spesimen Poliuretan ditambah 10% Nanoselulosa dan 10% Barium Heksiferit yang masing-masing dari ketiga variasi memiliki nilai *distance* yang berbeda. Pada PU+Nano10%+Bam 10% Variasi 1 menunjukkan nilai *distance* sebesar 50 mm, PU+Nano10%+Bam 10% Variasi 2 menunjukkan nilai *distance* sebesar 11 mm, dan PU+Nano10%+Bam 10% Variasi 3 menunjukkan nilai *distance* sebesar 32 mm. Hasil pengujian *Flame Retardant* dengan 3 variasi spesimen Poliuretan ditambah 10% Nanoselulosa dan 10% Barium Heksiferit ditunjukkan pada Gambar 4.18 di bawah ini.



**Gambar 4. 18** Pengujian *Flame Retardant* dari (a) PU+Nano10%+Bam 10% Variasi 1 (b) PU+Nano10%+Bam 10% Variasi 2 (c) PU+Nano10%+Bam 10% Variasi 3

Kemudian berdasarkan hasil pengujian *Flame Retardant* di atas dengan menggunakan tiga kali pengujian pada tiap variasi spesimen dapat terlihat perbedaan laju bakar pada tiap variasi material penyusunnya. Hasil pengujian *Flame Retardant* dengan 3 variasi spesimen Poliuretan ditambah 15% Nanoselulosa dan 10% Barium Heksiferit yang masing-masing dari ketiga variasi memiliki nilai *distance* yang berbeda. Pada PU+Nano15%+Bam 10% Variasi 1 menunjukkan nilai *distance* sebesar 13 mm, PU+Nano15%+Bam 10% Variasi 2 menunjukkan nilai *distance* sebesar 12 mm, dan PU+Nano15%+Bam 10% Variasi 3 menunjukkan nilai *distance* sebesar 17 mm. Hasil pengujian *Flame Retardant* dengan 3 variasi spesimen Poliuretan ditambah 15% Nanoselulosa dan 10% Barium Heksiferit yang ditunjukkan pada Gambar 4.19 di bawah ini.





**Gambar 4. 19** Pengujian Flame Retardant dari (a) PU+Nano15%+Bam 10% Variasi 1 (b) PU+Nano15%+Bam 10% Variasi 2 (c) PU+Nano15%+Bam 10% Variasi 3

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan berikut data yang didapatkan dalam pengujian *Flame Retardant* dengan spesimen Poliuretan/Nanoselulosa/Barium-M Heksiferit dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini.

**Tabel 4. 8** Hasil Pengujian *Flame Retardant*

Spesimen	Distance (mm)	Time (s)	Burn Rate (mm/s)	Temperature (°C)
PUM 1	75	34,57	2,170	356,6
PUM 2	75	34,77	2,157	345,6
PUM 3	75	30,92	2,426	369,7
PU+Nano0%+Bam 10% 1	75	37,09	2,002	374,3
PU+Nano0%+Bam 10% 2	75	33,48	2,401	366,7
PU+Nano0%+Bam 10% 3	75	40,12	1,869	345
PU+Nano10%+Bam 10% 1	50	125,64	0,397	347,7
PU+Nano10%+Bam 10% 2	11	38,54	0,2854	381,1
PU+Nano10%+Bam 10% 3	32	46,21	0,692	334,4
PU+Nano15%+Bam 10% 1	13	35,16	0,369	389,6
PU+Nano15%+Bam 10% 2	12	27,52	0,436	390,5
PU+Nano15%+Bam 10% 3	17	31,16	0,545	401

Berdasarkan hasil pengujian *Flame Retardant* di atas dengan menggunakan tiga kali pengujian pada tiap variasi spesimen dapat terlihat perbedaan laju bakar pada tiap variasi material penyusunnya. Terlihat pada saat pengujian spesimen poliuretan murni (PUM) terbakar habis dengan laju bakar terkecil sebesar 2,157 mm/s pada PUM 2 dan spesimen poliuretan dengan penambahan *filler* Barium M-Heksaferit menunjukkan bahwa spesimen juga terbakar habis tetapi perbedaan terlihat adanya penurunan laju bakar dengan laju bakar terkecil sebesar 1,869 mm/s pada PU+Nano0%+Bam 10% 3. Hal ini disebabkan dengan adanya penambahan *filler* Barium M-Heksaferit yang ditambahkan pada matriks poliuretan mempunyai sifat termal yang lebih baik dimana barium M-heksaferit mempunyai titik lebur dan temperature proses yang lebih baik membuat material variasi poliuretan dengan *filler* barium M-heksaferit mempunyai laju bakar yang lebih kecil dari variasi poliuretan murni.

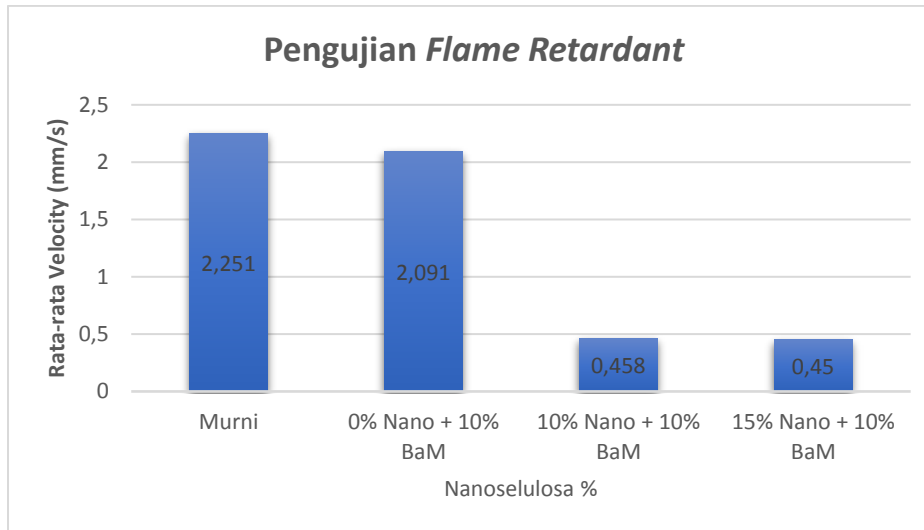
Berbeda dengan spesimen Komposit Poliuretan/Barium Heksaferit/Nanoselulosa penambahan nanoselulosa menyebabkan penurunan laju bakar yang drastis dikarenakan pada saat pengujian *Flame Retardant* laju api padam pada jarak tertentu, sehingga tidak membuat Komposit Poliuretan/Barium Heksaferit/Nanoselulosa terbakar habis.

Terlihat pada spesimen variasi PU+Nano10%+Bam 10% 2 adalah spesimen dengan laju bakar terkecil sebesar 0,389 mm/s dengan jarak bakar 15 mm sampai api padam dan pada spesimen variasi PU+Nano15%+Bam 10% 1 menunjukkan laju bakar terkecil sebesar 0,369 mm/s dengan jarak bakar 12 mm sampai api padam. Data yang didapat dalam pengujian *Flame Retardant* kemudian dilakukan perhitungan rata-rata untuk mengetahui validasi laju bakar spesimen Komposit Poliuretan/Barium Heksaferit/Nanoselulosa seperti Tabel 4.9 di bawah ini.

**Tabel 4.9** Hasil Rata-rata Laju Bakar Pengujian *Flame Retardant*

Spesimen	Average laju bakar (mm/s)
PU Murni	2,251 ± 0,152
PU+Nanoselulosa0%+Bam 10%	2,091 ±0,277
PU+Nanoselulosa10%+Bam 10%	0,458 ±0,210
PU+Nanoselulosa15%+Bam 10%	0,45 ±0,089

Pada Tabel 4.9 di atas terlihat pengaruh penambahan persentase nanoselulosa pada komposit poliuretan dengan *filler* barium heksaferit. Terlihat bahwa seiring dengan penambahan persentase nanoselulosa menyebabkan menurunnya *average* laju bakar pada spesimen nanoselulosa yang di teliti, dapat terlihat rata-rata laju bakar tertinggi terdapat pada variasi komposit poliuretan murni sedangkan rata-rata laju bakar terendah terdapat pada variasi komposit poliuretan dengan *filler* barium heksaferit 10% dan penambahan nanoselulosa 15%. Diketahui nilai *Average* laju bakar pada Poliuretan murni sebesar 2,251 mm/s, *average* laju bakar pada Poliuretan murni ditambah 0% nanoselulosa dan 10% barium heksaferit sebesar 2,091 mm/s, kemudian *average* laju bakar pada Poliuretan murni ditambah 10% nanoselulosa dan 10% barium heksaferit sebesar 0,458 mm/s, hingga Poliuretan murni ditambah 15% nanoselulosa dan 10% barium heksaferit sebesar 0,45 mm/s. Dari hasil rata-rata laju bakar pengujian *flame retardant* dapat dilihat grafik pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap densitas komposit pada Gambar 4.20 di bawah ini.



**Gambar 4. 20** Grafik Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Laju Bakar Komposit

Pada Gambar 4.20 dapat terlihat bahwa penambahan *filler* Barium-M Heksaferit dan penambahan persentase nanoselulosa pada komposit Poliuretan menyebabkan penurunan terhadap laju bakar pada pengujian *Flame Retardant*. Terlihat saat penambahan nanoselulosa laju bakar sangat menurun dari 2,251 mm/s pada komposit variasi Poliuretan murni ditambah 0% nanoselulosa dan 10% barium heksaferit menjadi 0,458 mm/s saat penambahan Nanoselulosa pada variasi Poliuretan murni ditambah 10% nanoselulosa dan 10% barium heksaferit dan laju bakar terendah adalah 0,45 mm/s pada variasi Poliuretan murni ditambah 15% nanoselulosa dan 10% barium heksaferit.

Hal ini disebabkan karena penambahan Nanoselulosa pada saat pengujian *flame retardant* api yang membakar spesimen komposit Poliuretan/Nanoselulosa/Barium-M Heksaferit merambat sangat lambat dan membuat api padam sebelum membakar keseluruhan batas yang ditentukan pada ASTM 673 *Flame Retardant*. Hambatan *lamellar* pada nanoselulosa yang selaras di sepanjang orientasi *planar* berkontribusi untuk menekan perpindahan panas dan massa antara zona api dan matriks yang mendasarinya, yang menimbulkan pengurangan dalam tingkat pelepasan panas puncak, tingkat pelepasan asap puncak, dan tingkat produksi puncak CO dari komposit nanoselulosa (Dong Wang, 2020)

Dari rata-rata laju bakar pada pengujian *flame retardant* terlihat bahwa pengaruh penambahan nanoselulosa terhadap laju bakar komposit poliuretan *filler* Barium M- Heksaferit membuat tren laju bakar komposit menjadi menurun. Pembentukan ini memberikan ide inovatif dimana penambahan nanoselulosa secara signifikan meningkatkan penghambatan api pada komposit serta stabilitas termalnya dapat berpotensi besar penerapan aplikasinya pada penggunaan komposit Poliuretan/Barium M-Heksaferit/Nanoselulosa untuk dikembangkan sebagai material *flame retardant*.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan melalui penelitian ini adalah:

1. Penambahan Nanoselulosa sebagai *filler* pada komposit Poliuretan / Nanoselulosa / Barium-M Heksaferit meningkatkan porositas pada komposit dan membuat bentuk pori pada komposit menjadi tidak seragam. Dengan nilai persentase porositas tertinggi sebesar 33,984% pada penambahan nanoselulosa 15%.
2. Meningkatnya porositas yang terbentuk berakibat pada menurunnya densitas pada komposit Poliuretan / Nanoselulosa / Barium Heksaferit. Dengan nilai densitas terendah sebesar 1,1053 gr/cm<sup>3</sup> pada penambahan nanoselulosa 15%.
3. Penambahan Nanoselulosa sebagai *filler* pada komposit Poliuretan / Nanoselulosa / Barium-M Heksaferit menurunkan laju bakar pada komposit dan membuat api padam. Dengan nilai rata-rata laju bakar terendah sebesar 0,45 mm/s pada penambahan nanoselulosa 15%.
4. Penambahan Nanoselulosa sebagai *filler* pada komposit Poliuretan / Nanoselulosa / Barium-M Heksaferit meningkatkan nilai *hardness*. Dengan nilai *average hardness* tertinggi sebesar 19,33 D pada penambahan nanoselulosa 15%.

#### 5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan melalui penelitian ini adalah:

1. Melakukan penelitian lebih lanjut terkait penambahan poliuretan/nanoselulosa/barium heksaferit untuk menentukan komposisi yang optimal terhadap morfologi, sifat termal, dan sifat mekanik.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



---

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditya Perdana, R. (2018). Komposit Serat Bambu Dengan Variasi Orientasi Susunan Serat Sebagai Material Alternatif Peredam Suara. *Universitas Sanata Dharma*.
- Agustiar, P., Pracoyo, W., & Azharul, F. (2019). Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU Jurnal Rekayasa Material , Manufaktur dan Energi FT-UMSU. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* [Http://Jurnal.Umsu.Ac.Id/Index.Php/RMME](http://Jurnal.Umsu.Ac.Id/Index.Php/RMME), 2(2), 131–139.
- Al-mosawi, I. A., Ammash, H. K., Salaman, A. J., Yousif, A. R., & Ali, M. M. (2012). Flame Retardancy Of Structural Composites. *Iraq: Mechines and Equipments Department. Technical Institute-Babylon. Al-Qadisiya University*.
- Armunanto, V. B. (2015). *SIFAT TARIK DAN KETAHANAN BAKAR KOMPOSIT SERBUK GENTENG SOKKA, PHENOLIC, DAN SERAT GELAS*. Universitas Sebelas Maret.
- Ashida, K. (2007). *Polyurethane and Related Foams* (1st ed.). CRC Press.
- Atay, H. Y., & Celik, E. (2013). Barium Hexaferrite Reinforced Polymeric Dye Composite Coatings for Radar Absorbing Applications. *Polym. Compos.*, 9.
- Aya, Hadiwinoto, B., Sjahroel, Siwahid, & Radiansyah, I. (2013). *Fire Retardant pada Polimer*. <http://material-sciences.blogspot.com>
- Büyükakinci, Y., Sökmen, N., & Küçük, H. (2011). Thermal conductivity and acoustic properties of natural fiber mixed polyurethane composites. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 21(2), 124–132.
- C, T. G. (1987). Chemical Modification of Polymers With Flame Retardant Compounds. *Cambridge: Department Of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute Of Technology, Fibers And Polymers Laboratories*, 105–114.
- Callister, W. D. (1991). Callister, W. D. Material Science and Engineer. *J. Mater. Sci*, 26, 3940–3944.
- Callister, W. D. (2007). *Material Science and Engineering An Introduction*. John Wiley and Sons, Inc.
- Callister, William D. (1991). Material Science and Engineer. *Journal of Materials Science*, 26(14), 3940–3944.
- Castellanos, M., Borges, M., Melgar, O., Garcia, J., & Alcaide, G. (2011). Structural and Magnetic Study of The Ti<sup>4p</sup>-Doped Barium Hexaferrite Ceramic Samples. *Theoretical and Experimental Results*. .
- Cheremisnoff, N. F. (1989). *Handbook of Engineering Polymeric Materials*. Society of the Plastics Ind.
- Członka, S., Kairyte, A., Miedzińska, K., & Strąkowska, A. (2021). Polyurethane composites reinforced with walnut shell filler treated with perlite, montmorillonite and halloysite. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(14). <https://doi.org/10.3390/ijms22147304>
- D. Mudgil. (2017). The Interaction Between Insoluble and Soluble Fiber. *Dietary Fiber for the Prevention of Cardiovascular Disease: Fiber's Interaction between Gut Microflora, Sugar Metabolism, Weight Control and Cardiovascular Health*.
- Dian, J., Farid, M., & Rasyida, A. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Komposit Polyurethane Berpenguat Nanocellulose dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Akustik. *Jurnal Teknik ITS*.
- Dong Wang, et al. (2020). *Bioinspired Lamellar Barriers for Significantly Improving the Flame-Retardant Properties of Nanocellulose Composites*. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b07745>
- Durmus, Z. (2014). Synthesis, conductivity and dielectric characterization of salicyclic acid-
-

- Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposite. *Royal Institute of Technology : Stockholm, Sweden.*
- Dwi Pangga. (2011). *Pengaruh Substitusi Ion Dopan Co/Zn Terhadap Struktur Kristal Barium M-Hexaferrit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>.* ITS.
- Effendi, D. B., Rosyid, N. H. R., Nandiyanto, A. B. D., & Mudzakir, A. (2015). Review : Sintesis Nanoselulosa. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(2), 61–74.
- Farid, M., Purniawan, A., & Susanti, D. (2018). Nanocellulose Based Polymer Composite for Acoustical Materials. *ICOMMET*.
- Ghasemi, A., Hossienpour, M. A., & A, S. S. (2006). Electromagnetic Properties and Microwave Absorbing Characteristics of Doped Barium Hexaferrite. *J. Magn. Mater*, 302, 429–435.
- Gibson, R. F. (2011). Principles of Composite Material Mechanics. *Principles of Composite Material Mechanics*. <https://doi.org/10.1201/b14889>
- Habibi, Y., Lucia, L. A., & Rojas, O. J. (2010). Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications. *Chemical Reviews*, 110(6), 3479–3500. <https://doi.org/10.1021/cr900339w>
- Harmita. (2006). *Analisis Fisika Kimia*. Universitas Indonesia.
- Harper. (1996). *Review Current International Research into Cellulosic Fibres and Composites*.
- Ioelovich, M. (2012). Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. *Nanoscience and Nanotechnology*, 2(2), 9–13. <https://doi.org/10.5923/j.nn.20120202.03>
- Jones, R. (1999). *Mechanics of Composite Material*. Virginia.
- Kanagesan, S., Hashim, M., Jesurani, S., Kalaivani, T., & Ismail, I. (2014). Influence of Zn-Nb on The Magnetic Properties of Barium Hexaferrite. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 27(3), 811–815. <https://doi.org/10.1007/s10948-013-2357-3>
- Kim, J. H., Shim, B. S., Kim, H. S., Lee, Y. J., Min, S. K., Jan, D., Abas, Z., & Kim, J. (2015). Review of Nanocellulose for Sustainable Future Materials. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRECISION ENGINEERING AND MANUFACTURING-GREEN TECHNOLOGY*, 1–2.
- L. Triyasititi., D. K. (2018). Isolasi nanokristal dari pelepah pohon salak sebagai filler pada film berbasis Polivinil Alkohol (PVA). *Indonesian Journal of Materials Chemistry*, 1, 39–45.
- Linda, E., & Astuti. (2021). Sintesis Nanokomposit PAni/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sebagai Penyerap Magnetik pada Gelombang Mikro. *J. Fis. Unand*, 1, 37–44.
- Mallick, P. K. (2007). Fibre-reinforced Composites Materials, Manufacturing and Design. In *Composites* (Third Edit, Vol. 20, Issue 2). CRC Press. [https://doi.org/10.1016/0010-4361\(89\)90651-4](https://doi.org/10.1016/0010-4361(89)90651-4)
- Morkholt, J., Hald, J., & Gade, S. (2011). Sound intensity measurements in vehicle interiors. *Sound Vib*, 45, 12–14.
- Mustamir, Abdillah, Ir. Moh. Farid, D., & Vania Mitha Pratiwi, S.T., M. T. (2016). *Studi Material Poliester-Gypsum Berpenguat Serat Ampas Tebu dan Bambu Betung untuk Aplikasi Bahan Akustik yang tidak mudah terbakar*. 57.
- Nandanwar, A., Kiran, M. C., & Varadarajulu, K. C. (2017). Influence of Density on Sound Absorption Coefficient of Fibre Board. *Open Journal of Acoustics*, 07(01), 1–9. <https://doi.org/10.4236/oja.2017.71001>
- Nayiroh, N. (2013). *Teknologi Material Komposit*.
- Rachmadhani, D., & Farid, M. (2017). *Karakterisasi Komposit Silicone Rubber Berpenguat Nanoselulosa Serat Tandan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Racmawati, Susmita, M. Z. (2016). *PELAPISAN SINGLE LAYER PENYERAP GELOMBANG RADAR DISPERSI BARIUM M-HEKSAFERIT / POLIANILIN PADA RENTANG X-BAND*.
- Rahmawan, W., Agus, Y., & Sulhadi. (2013). Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Komposit
-

- Berbahan Dasar Barium Ferit dengan Pengikat Karet Alam. *J. Sains Dasar*, 2, 32–36.
- Rasyida, A., Purniawan, A., Farid, M., & Susanti, D. (2019). Effect of nanocellulose on acoustical and thermal insulation properties of silicone rubber composite. *Materials Science Forum*.
- Rohaeti, E., Surdia, N. M., Radiman, C. L., & Ratnaningsih, E. (2000). Thermal Properties of Synthesized Polyurethane with Tapioca Starch. *Proceedings of The Second International Workdhop on Green Polymers*, 313.
- Satyawati, I. M. A., & Farid, M. (2019). *Karakterisasi Komposit Silicone Rubber Berpenguat Nanoselulosa dan Barium Heksaferrit Untuk Aplikasi Absorpsi Suara dan Absorpsi Radar*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Schwartz, M. M. (1984). *Composite Materials Handbook*. McGraw-Hill Inc.
- Sharma, A. K., Bhandari, R., Aherwar, A., & Rimašauskiene, R. (2020). Matrix materials used in composites: A comprehensive study. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1559–1562. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.086>
- Shastri, V., & M. Stevens. (2008). Polymer Foams. *Encycl. Biomater. Biomed.*, 4, 2270–2274. doi:10.1201/b18990-217.
- Simbolon, S. (2013). Pengaruh Komposisi Doping Ion Mn Pada Pembuatan Magnet Barium Heksaferrit (BaFe<sub>12</sub>-xMnxO<sub>19</sub>) Sebagai Penyerap Gelombang Mikro. *Universitas Sumatera Utara*.
- Sirait, D. H. (2010). *Material Komposit*. Erlangga.
- SS Rana, M. G. (2021). Fabrication of bionanocomposites reinforced with hemp nanocellulose and evaluation of their mechanical, thermal and dynamic mechanical properties. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*.
- Sulistijiono. (2012). *Mekanika Material Komposit*. ITS Press.
- Sunardi, S., Fawaid, M., & Muhamad, F. R. N. (2015). Variasi Campuran Fly Ash Batubara untuk Material Komposit. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 1(1), 90–102.
- Utomo, S. B., Farid, M., & Nurdiansyah, H. (2017). Analisis Proses Pengikisan (Bleaching) dari Hasil Alkalisasi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Penguat Bahan Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*.
- Zainudin, M., Diharjo, K., Setyanto, D., & Ubaidillah. (2022). *Industrial Implementation of Aluminium Trihydrate-Fiber Composition for Fire Resistance and Mechanical Properties in Glass-Fiber-Reinforced Polymer Roofs*.
- Zhang, Y., Nypelo, T., Salas, C., Arboleda, J., Hoeger, I. C., & Rojas, O. J. (2013). Zhang, Y. et al., 2013. Cellulose Nanofibrils: From Strong Materials to Bioactive Surface. *Cellulose NFC*, 1–3.
- Zhao, R., Li, W., Lee, J. H., Choi, E. M., Liang, Y., Zhang, W., Tang, R., Wang, H., Jia, Q., Macmanus-Driscoll, J. L., & Yang, H. (2014). Precise tuning of (YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>)<sub>1-x</sub>:(BaZrO<sub>3</sub>)<sub>x</sub> Thin film nanocomposite structures. *Advanced Functional Materials*, 24(33), 5240–5245. <https://doi.org/10.1002/adfm.201304302>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

---

## LAMPIRAN PERHITUNGAN MASSA SPESIMEN

Massa Total = 50 gr

- PU

$$\text{Massa PU A} = 0,7 \times (50) \text{ gram} = 35 \text{ gr}$$

$$\text{Massa PU B} = 0,3 \times (50) \text{ gram} = 15 \text{ gr}$$

- PU + 10% BaM

$$\text{Massa BaM} = 0,1 \times 50 \text{ gram} = 5 \text{ gr}$$

$$\text{Massa PU A} = 0,7 \times (50-5) \text{ gram} = 31,5 \text{ gr}$$

$$\text{Massa PU B} = 0,3 \times (50-5) \text{ gram} = 13,5 \text{ gr}$$

- PU + 10% Nano +10% BaM

$$\text{Massa BaM} = 0,1 \times 50 \text{ gram} = 5 \text{ gr}$$

$$\text{Massa Nano} = 0,1 \times 50 \text{ gram} = 5 \text{ gr}$$

$$\text{Massa PU A} = 0,7 \times (50-10) \text{ gram} = 28 \text{ gr}$$

$$\text{Massa PU B} = 0,3 \times (50-10) \text{ gram} = 12 \text{ gr}$$

- PU + 15% Nano +10% BaM

$$\text{Massa BaM} = 0,1 \times 50 \text{ gram} = 5 \text{ gr}$$

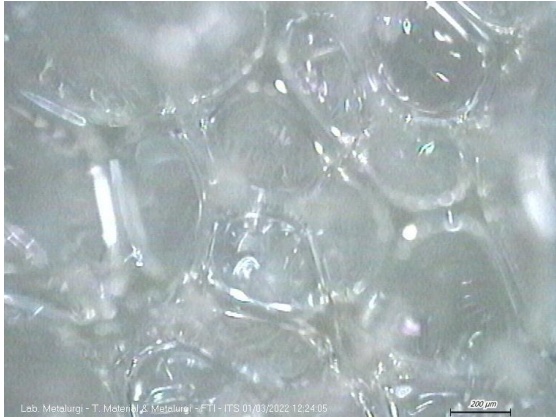
$$\text{Massa Nano} = 0,15 \times 50 \text{ gram} = 7,5 \text{ gr}$$

$$\text{Massa PU A} = 0,7 \times (50-12,5) \text{ gram} = 26,25 \text{ gr}$$

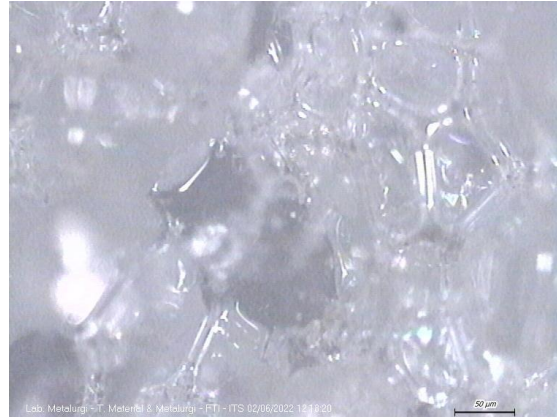
$$\text{Massa PU B} = 0,3 \times (50-12,5) \text{ gram} = 11,25 \text{ gr}$$



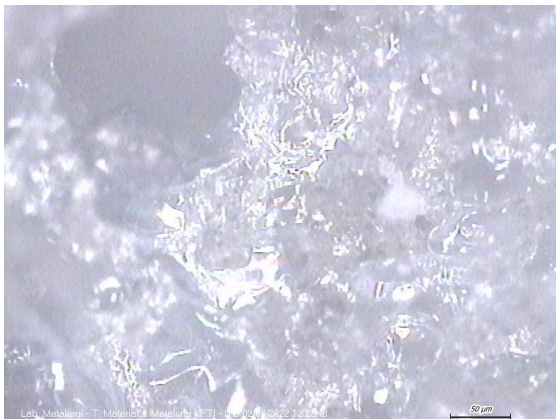
**LAMPIRAN**  
**HASIL PENGOLAHAN UJI MIKROSKOP DIGITAL**



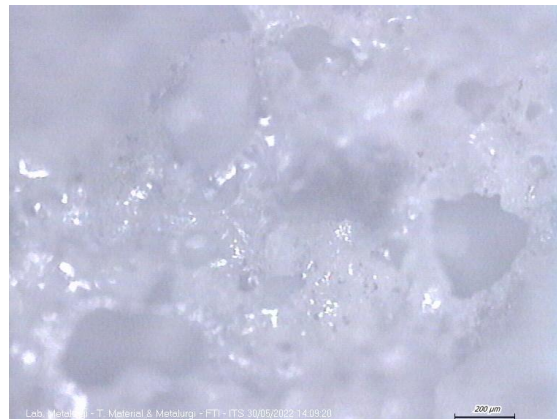
Gambar Hasil Uji Mikroskop Digital  
Poluretanan Murni



Gambar Hasil Uji Mikroskop Digital  
PU+Nano0%+Bam 10%



Gambar Hasil Uji Mikroskop Digital  
PU+Nano10%+Bam 10%



Gambar Hasil Uji Mikroskop Digital  
PU+Nano15%+Bam 10%

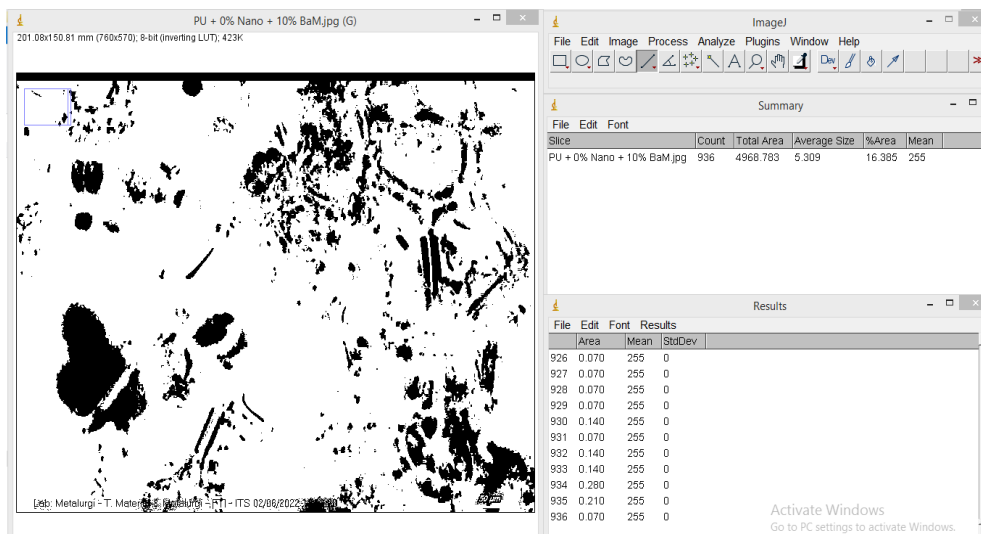
Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
PU Murni.jpg	897	5665.485	6.205	18.353	255

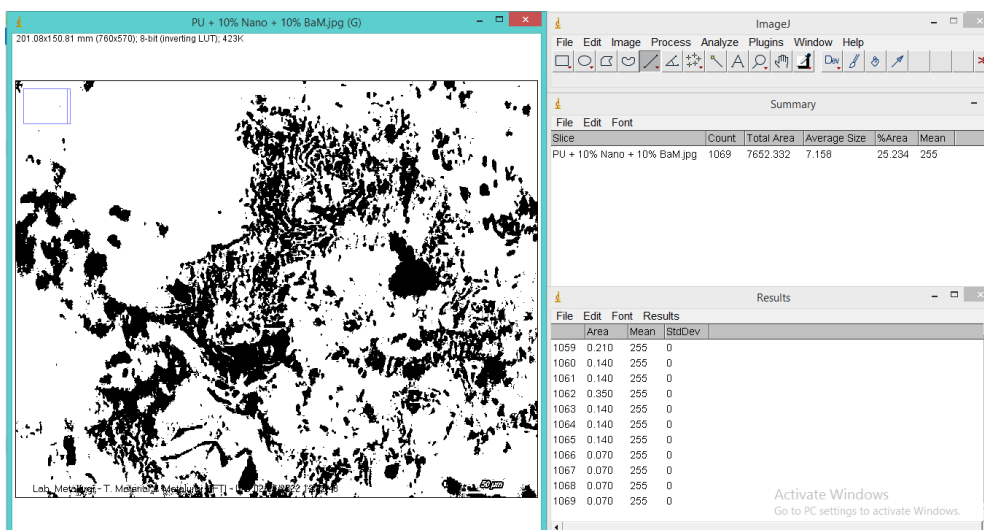
File	Area	Mean	StdDev
887	0.070	255	0
888	0.070	255	0
889	0.070	255	0
890	0.070	255	0
891	0.070	255	0
892	0.420	255	0
893	0.070	255	0
894	0.070	255	0
895	0.070	255	0
896	0.210	255	0
897	0.070	255	0

Gambar Hasil *ImageJ* Uji Mikroskop Digital Poluretanan Murni

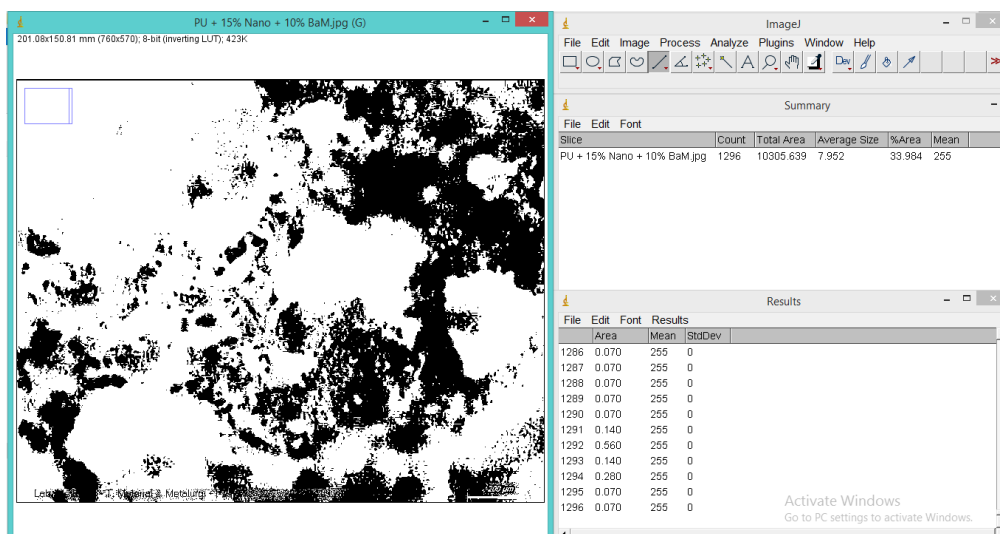
# LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Gambar Hasil *ImageJ* Uji Mikroskop Digital PU+Nano0%+Bam 10%

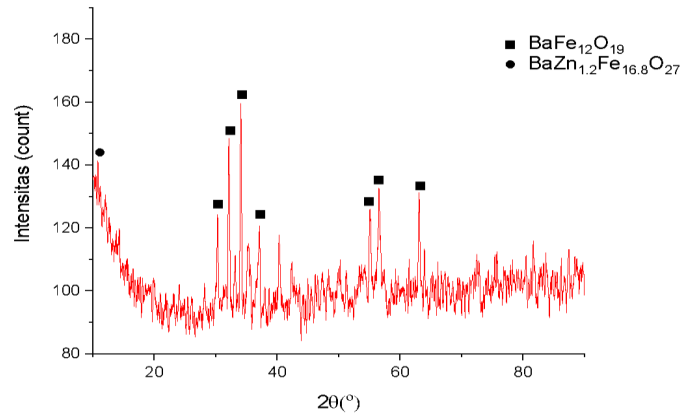


Gambar Hasil *ImageJ* Uji Mikroskop Digital PU+Nano10%+Bam 10%

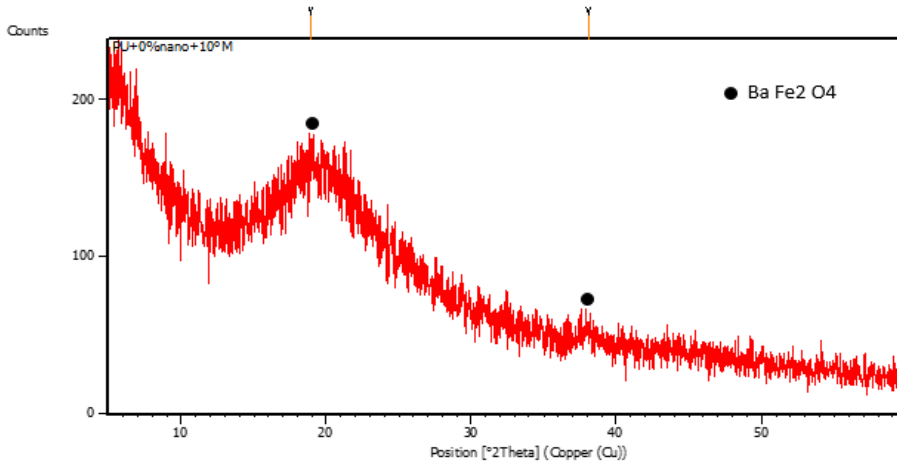


Gambar Hasil *ImageJ* Uji Mikroskop Digital PU+Nano15%+Bam 10%

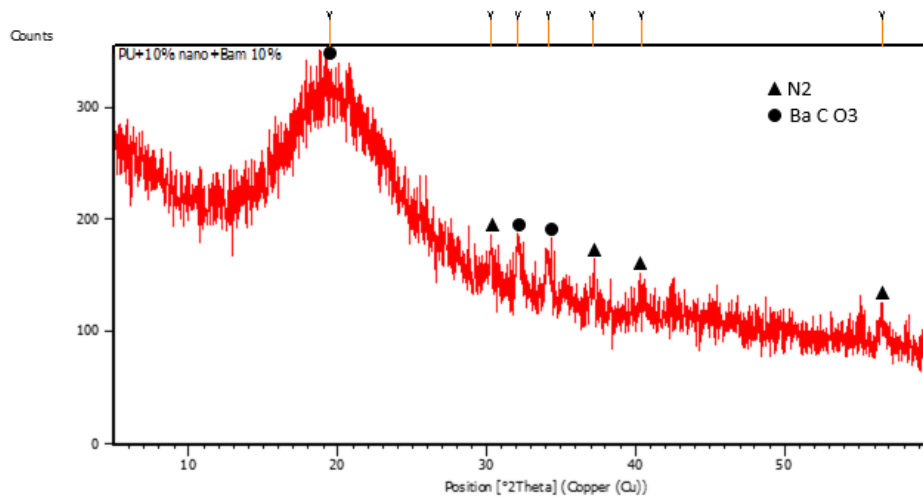
**LAMPIRAN**  
**HASIL PENGOLAHAN UJI XRD**



Gambar Pola XRD Barium M-Heksaferrit *Dopping* Zn

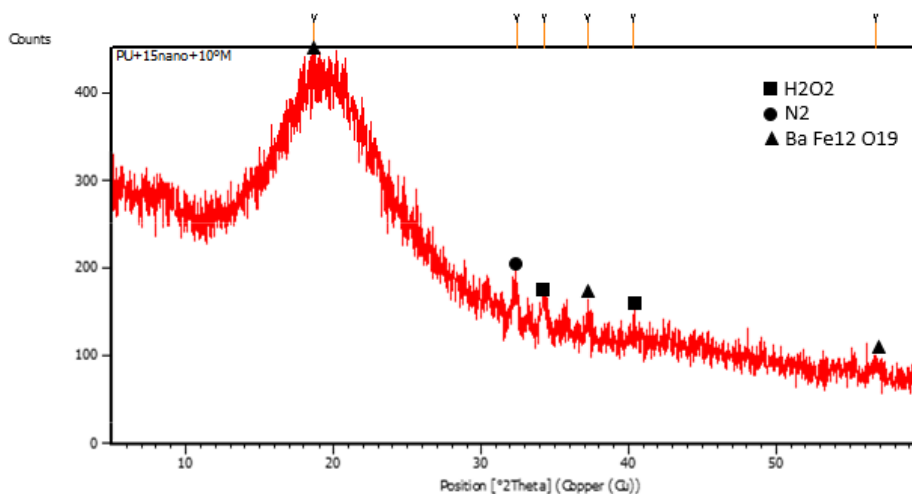


Gambar Hasil Uji XRD PU+Nano0%+Bam 10%

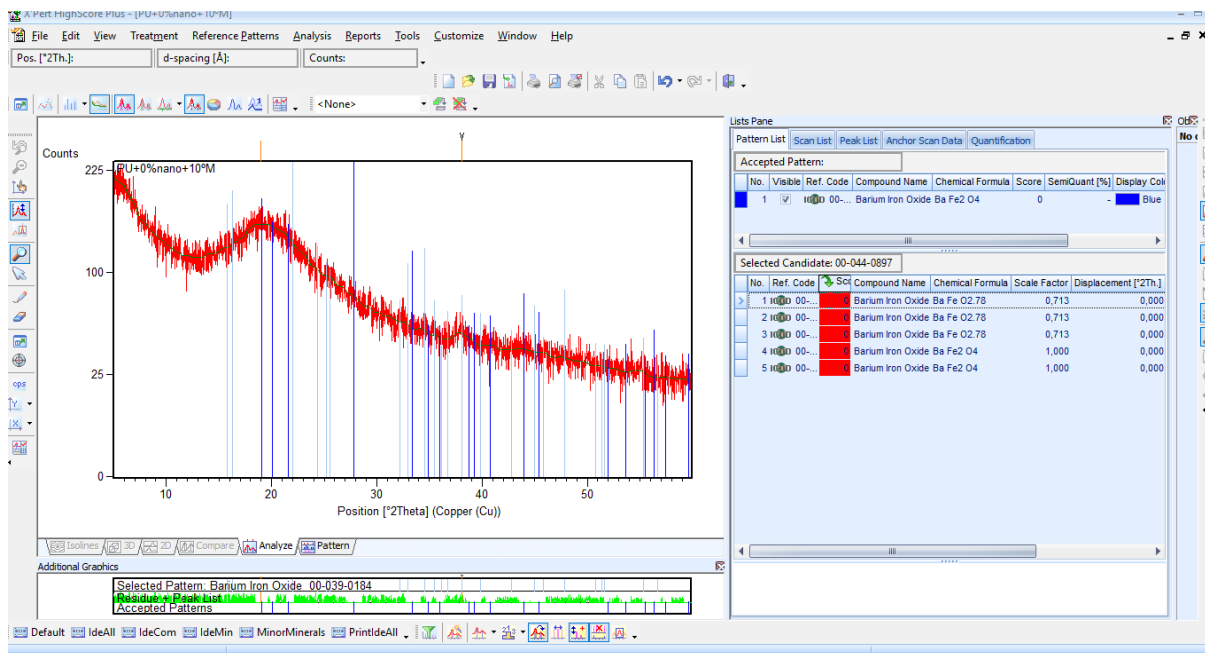


Gambar Hasil Uji XRD PU+Nano10%+Bam 10%

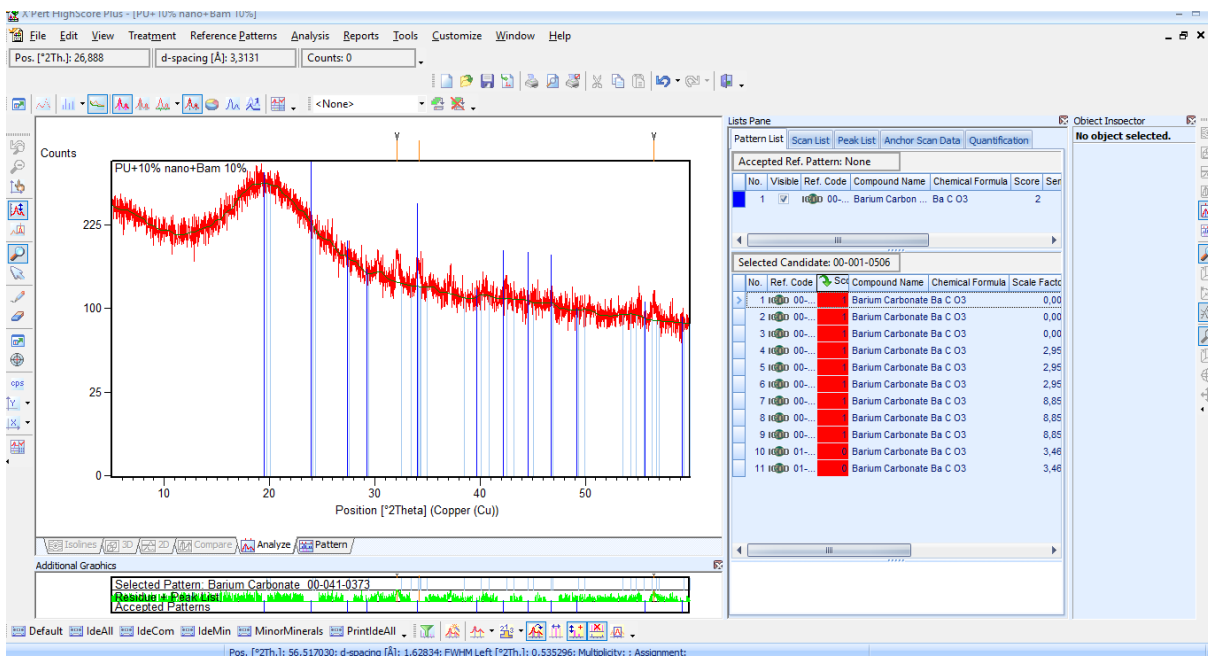




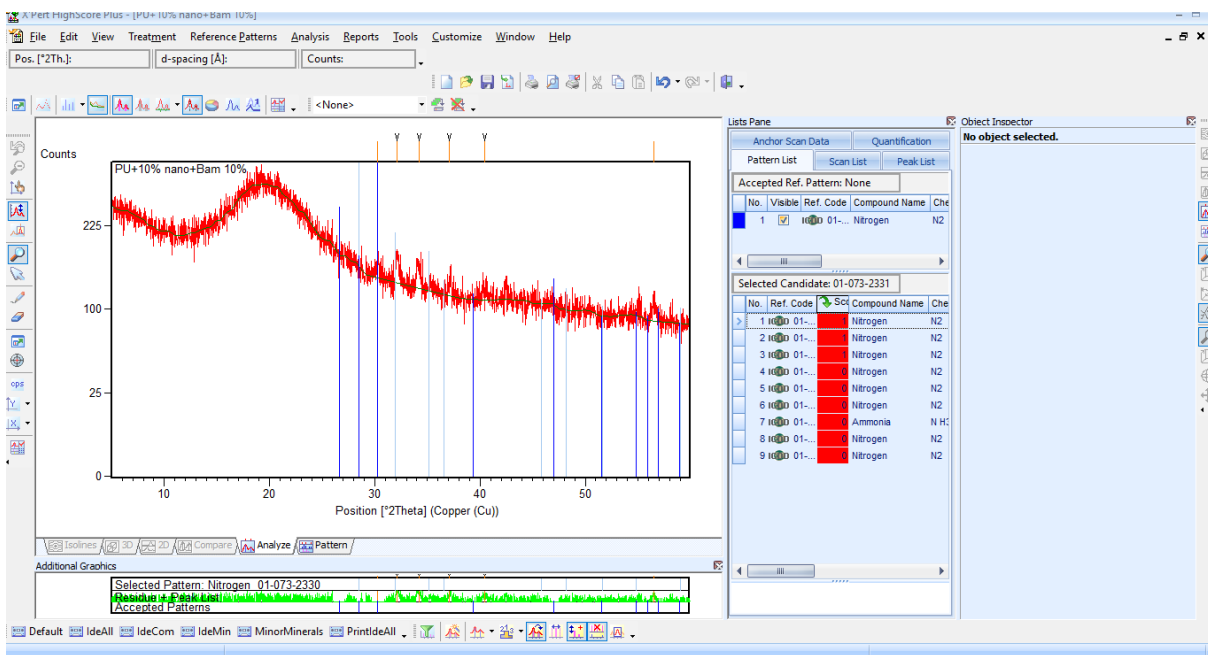
Gambar Hasil Uji XRD PU+Nano15%+Bam 10%



Gambar Hasil *Highscore* Uji XRD PU+Nano0%+Bam 10%

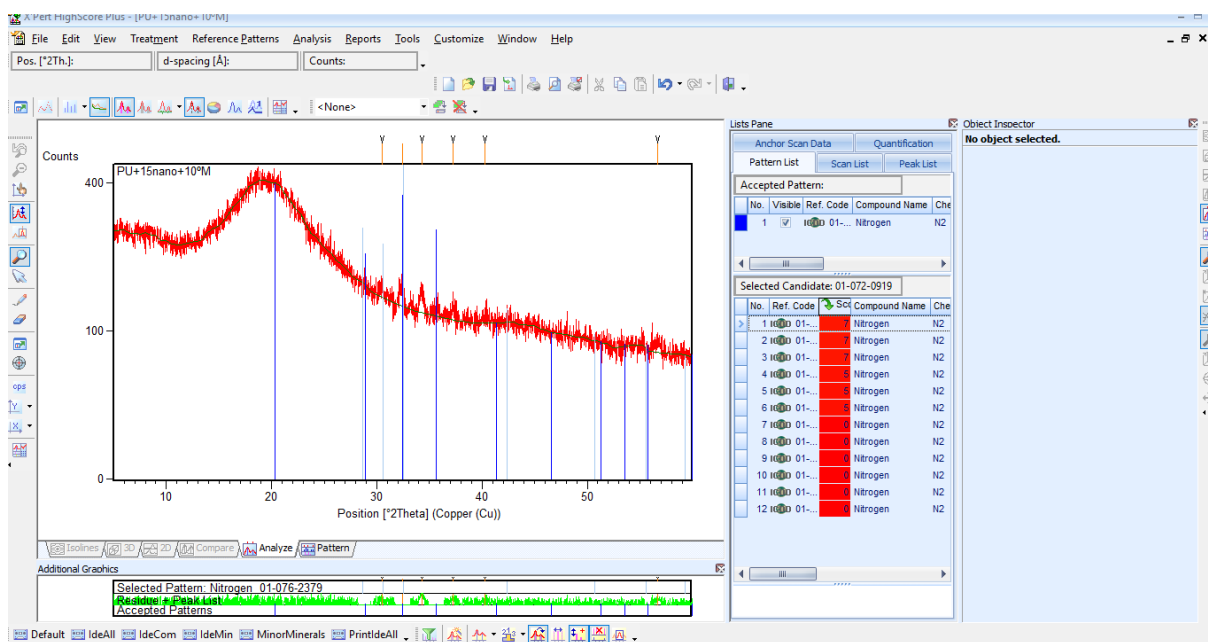


Gambar Hasil *Highscore* Uji XRD PU+Nano10%+Bam 10%

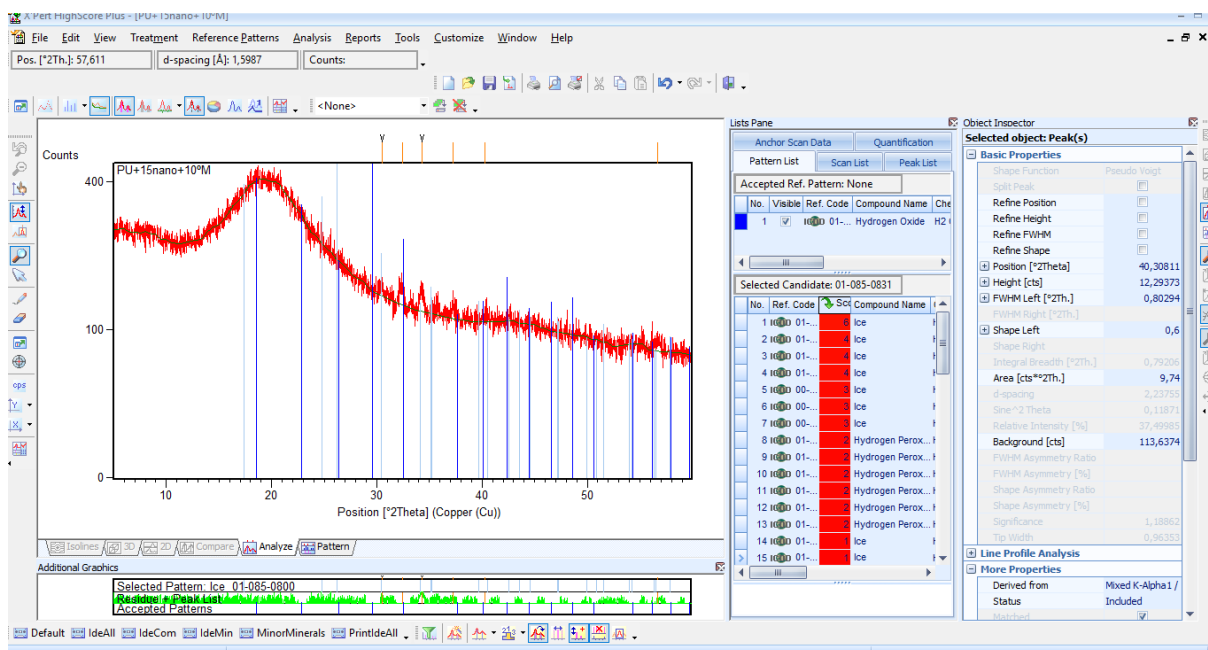


Gambar Hasil *Highscore* Uji XRD PU+Nano10%+Bam 10%

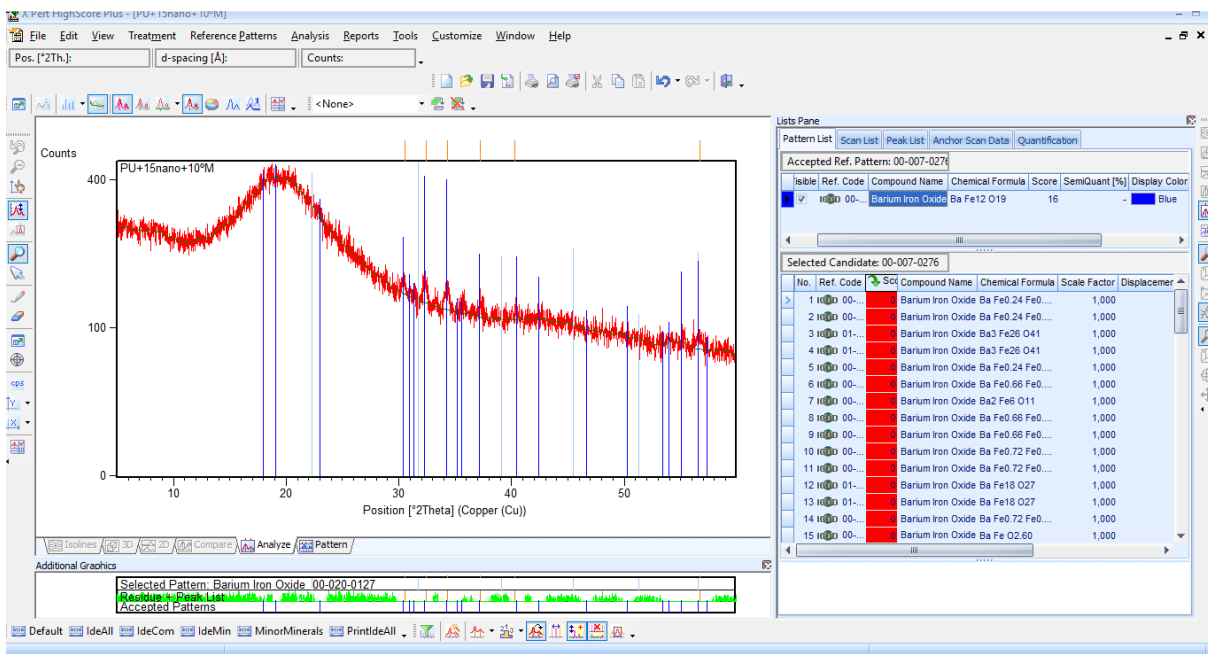
# LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



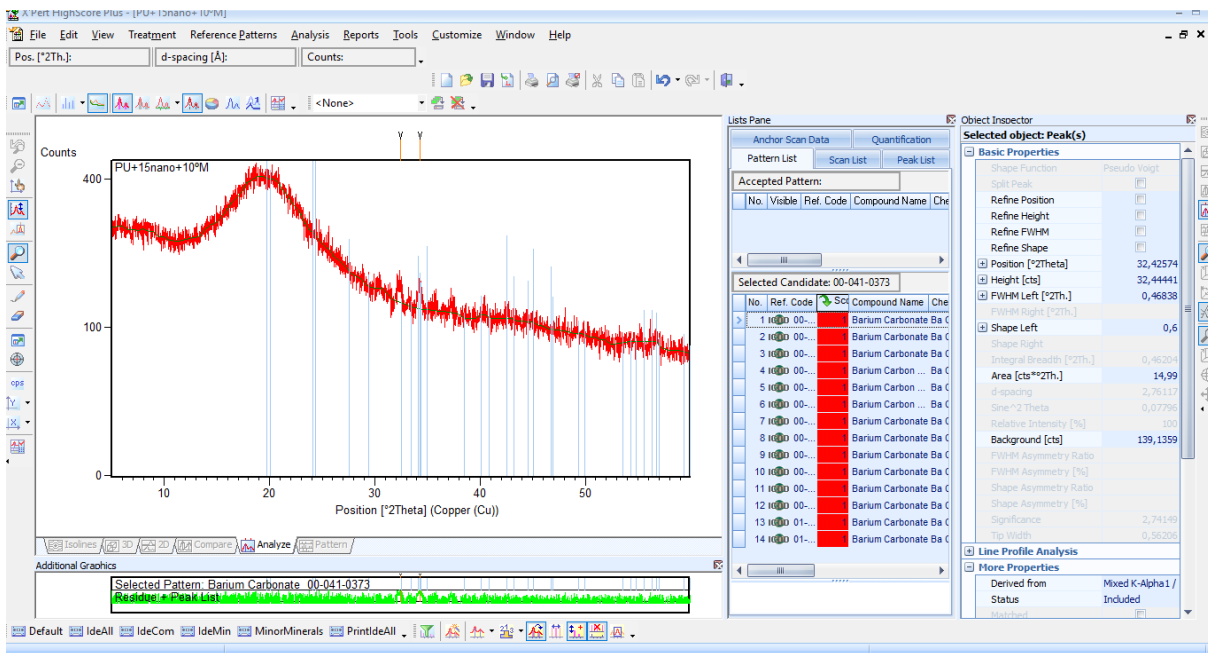
Gambar Hasil Highscore Uji XRD PU+Nano15%+Bam 10%



Gambar Hasil Highscore Uji XRD PU+Nano15%+Bam 10%



Gambar Hasil *Highscore* Uji XRD PU+Nano15%+Bam 10%



Gambar Hasil *Highscore* Uji XRD PU+Nano15%+Bam 10%

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (**Bookmark 1**)

Dataset Name PU+0% nano+10°M

File name E:\DATA PENGUJIAN-XRD\Pengujian 2022\April\Andiyana-XRD-

P.Faried\PU+0% nano+10%BAM\PU+0% nano+10°M.xrdml

Comment Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM

Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001

Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1

Diffraction system=XPERT-PRO

Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\Scan 5-60.xrdmp, Identifier={98C32519-1B92-45B7-A408-749641D88046}

Measurement Date / Time 4/12/2022 2:59:40 PM

Operator Institut Teknologi

Raw Data Origin XRD measurement (\*.XRDML)

Scan Axis Gonio

Start Position [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 5.0084

End Position [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 59.9864

Step Size [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 0.0170

Scan Step Time [s] 10.1600

Scan Type Continuous

PSD Mode Scanning

PSD Length [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 2.12

Offset [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 0.0000

Divergence Slit Type Fixed

Divergence Slit Size [ $^{\circ}$ ] 1.0000

Specimen Length [mm] 10.00

Measurement Temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] 25.00

Anode Material Cu

K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ] 1.54060

K-Alpha2 [ $\text{\AA}$ ] 1.54443

K-Beta [ $\text{\AA}$ ] 1.39225

K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000

Generator Settings 30 mA, 40 kV

Diffraction Type 0000000011119014

Diffraction Number 0

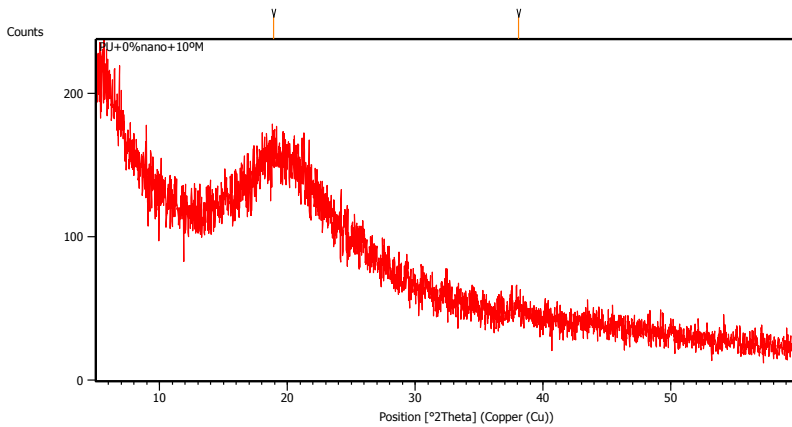
Goniometer Radius [mm] 240.00

Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00

Incident Beam Monochromator No

Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (**Bookmark 2**)



Peak List: (**Bookmark 3**)

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
18.9232	50.16	0.0900	4.68590	59.25
38.0705	84.66	0.0900	2.36180	100.00

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (**Bookmark 1**)

Dataset Name PU+10% nano+Bam 10%

File name E:\DATA PENGUJIAN-XRD\Pengujian 2022\Juni\PU+10% nano+Bam 10%-P.Farid\PU+10% nano+Bam 10%.rd

Comment Configuration=Reflection-Transmission Sp

Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini

Measurement Date / Time 6/9/2022 7:25:00 AM

Raw Data Origin PHILIPS-binary (scan) (.RD)

Scan Axis Gonio

Start Position [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 5.0084

End Position [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 59.9864

Step Size [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 0.0170

Scan Step Time [s] 10.1500

Scan Type Continuous

Offset [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ] 0.0000

Divergence Slit Type Fixed

Divergence Slit Size [ $^{\circ}$ ] 1.0000

Specimen Length [mm] 10.00

Receiving Slit Size [mm] 12.7500

Measurement Temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] -273.15

Anode Material Cu

K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ] 1.54060

K-Alpha2 [ $\text{\AA}$ ] 1.54443

K-Beta [ $\text{\AA}$ ] 1.39225

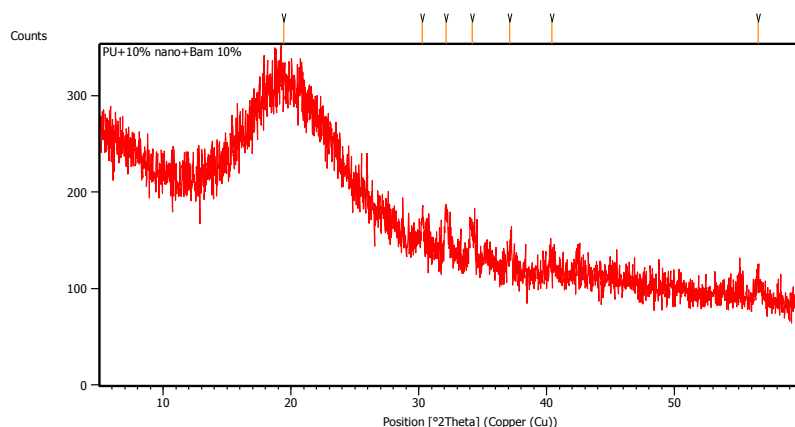
K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000

Generator Settings 30 mA, 40 kV

Diffraction Type XPert MPD

Diffraction Number 1

Goniometer Radius [mm] 200.00



Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00

Incident Beam Monochromator No

Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (**Bookmark 2**)

Peak List: (**Bookmark 3**)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
19.4049	61.07	0.0900	4.57066	100.00
30.2758	37.23	0.1673	2.95217	60.96
32.1332	41.06	0.2676	2.78564	67.23
34.1799	34.78	0.4015	2.62337	56.95
37.1151	21.15	0.4015	2.42237	34.63
40.4198	12.89	0.8029	2.23162	21.11
56.5170	23.04	0.5353	1.62834	37.72

This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.

Modify it according to your own needs and standards.

Measurement Conditions: (**Bookmark 1**)

Dataset Name PU+15nano+10°M

File name E:\DATA PENGUJIAN-XRD\Pengujian 2022\April\Andiyana-XRD-P.Faried\PU+15nano+10%BAM\PU+15nano+10°M.xrdml

Comment Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM

Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001

Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1

Diffractometer system=XPERT-PRO

Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\Scan 5-60.xrdmp, Identifier={98C32519-1B92-45B7-A408-749641D88046}

Measurement Date / Time 4/12/2022 2:51:48 PM

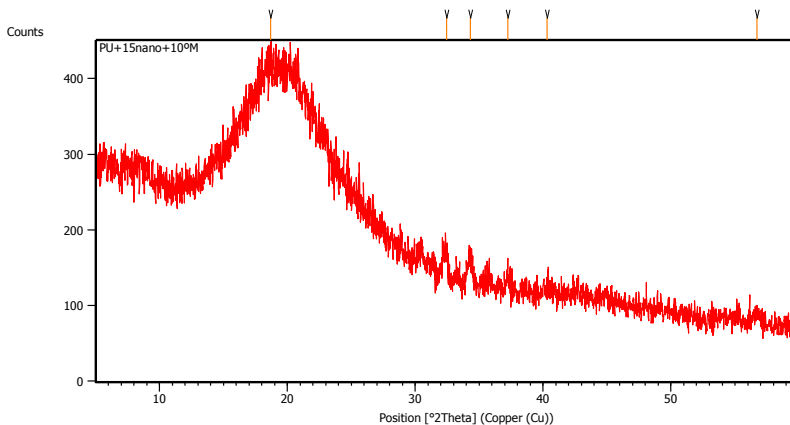
Operator Institut Teknologi

Raw Data Origin XRD measurement (\*.XRDML)

Scan Axis Gonio

Start Position [ $^{\circ}$ Th.] 5.0084  
 End Position [ $^{\circ}$ Th.] 59.9864  
 Step Size [ $^{\circ}$ Th.] 0.0170  
 Scan Step Time [s] 10.1600  
 Scan Type Continuous  
 PSD Mode Scanning  
 PSD Length [ $^{\circ}$ Th.] 2.12  
 Offset [ $^{\circ}$ Th.] 0.0000  
 Divergence Slit Type Fixed  
 Divergence Slit Size [ $^{\circ}$ ] 1.0000  
 Specimen Length [mm] 10.00  
 Measurement Temperature [ $^{\circ}$ C] 25.00  
 Anode Material Cu  
 K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ] 1.54060  
 K-Alpha2 [ $\text{\AA}$ ] 1.54443  
 K-Beta [ $\text{\AA}$ ] 1.39225  
 K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000  
 Generator Settings 30 mA, 40 kV  
 Diffractometer Type 0000000011119014  
 Diffractometer Number 0  
 Goniometer Radius [mm] 240.00  
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00  
 Incident Beam Monochromator No  
 Spinning No

Main Graphics, Analyze View: (**Bookmark 2**)



Peak List: (**Bookmark 3**)

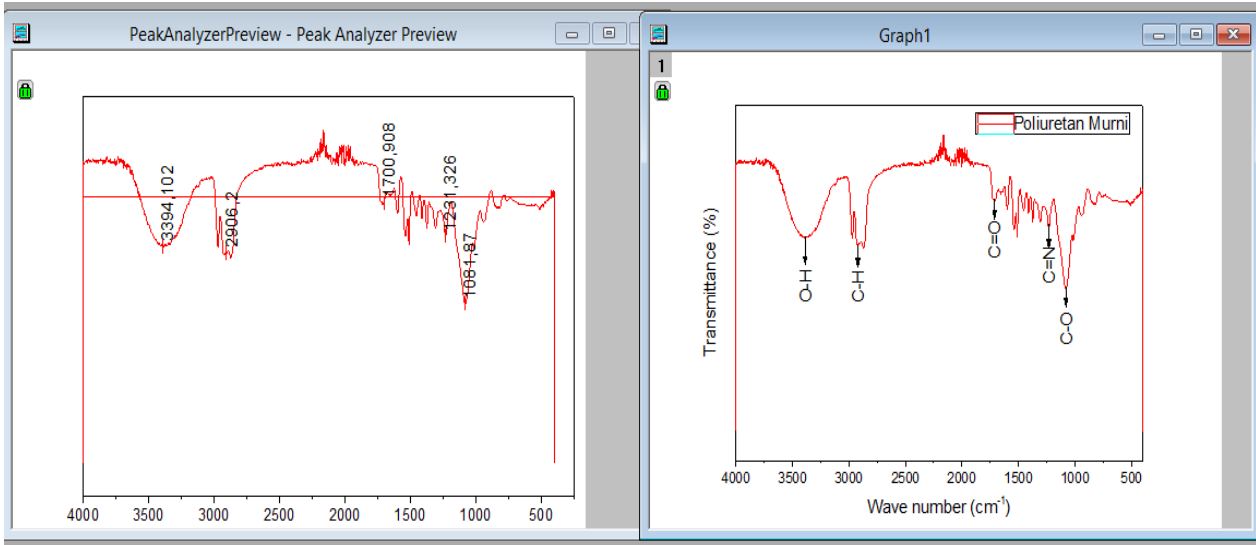
Pos. [ $^{\circ}$ Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ Th.]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
18.6823	81.68	0.0900	4.74577	100.00
32.4323	32.40	0.4684	2.76063	39.67
34.3030	30.49	0.4684	2.61424	37.32
37.2456	19.71	0.4015	2.41418	24.14
40.3169	12.17	0.8029	2.23708	14.90
56.7248	15.86	0.5353	1.62287	19.42



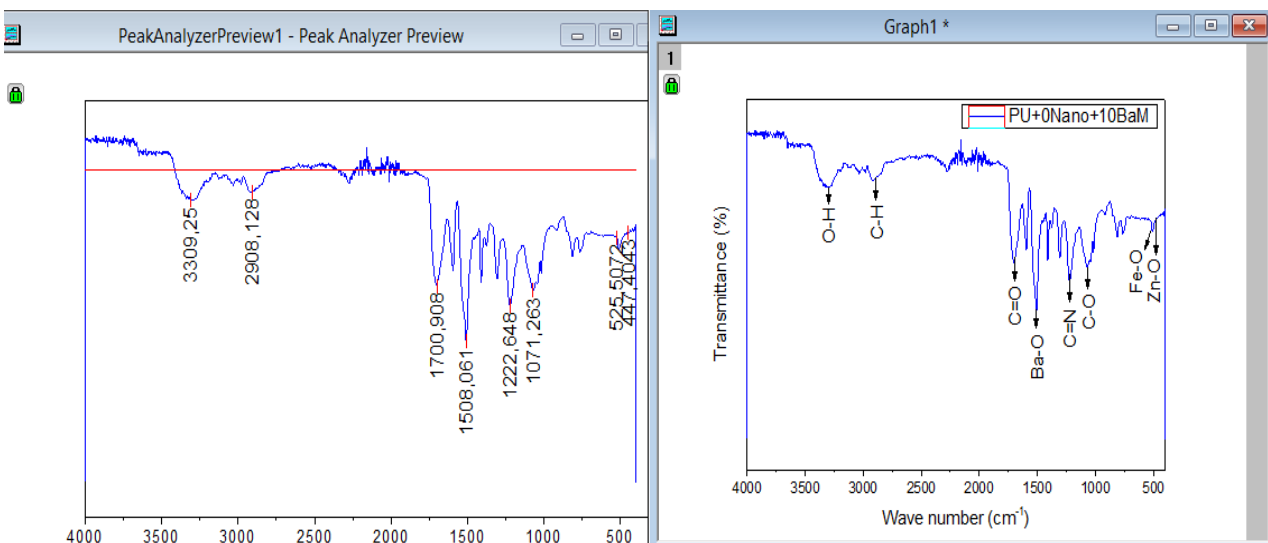
**LAMPIRAN**  
**HASIL PENGOLAHAN UJI DENSITAS**

<b>Spesimen</b>	<b>PU Murni</b>	<b>PU+Nano0%+ Bam 10%</b>	<b>PU+Nano10%+ Bam 10%</b>	<b>PU+Nano15%+ Bam 10%</b>
<b>Massa di udara (g)</b>	0,0415	0,0438	0,0408	0,0436
	0,0394	0,0414	0,0423	0,0394
	0,0407	0,0601	0,0422	0,0583
<b>Massa di air (g)</b>	0,0363	0,0381	0,0368	0,0387
	0,0356	0,0368	0,0372	0,0361
	0,0355	0,0516	0,0379	0,0533
<b>Spesific gravity</b>	1,1427	1,1575	1,1155	1,0978
	1,1136	1,1322	1,1447	1,1248
	1,1546	1,1718	1,1203	1,1017
<b>Densitas</b>	1,1398	1,1546	1,1127	1,0951
	1,1108	1,1293	1,1418	1,1219
	1,1517	1,1688	1,1174	1,0989
<b>Densitas rata-rata (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,1341	1,1509	1,1239	1,1053

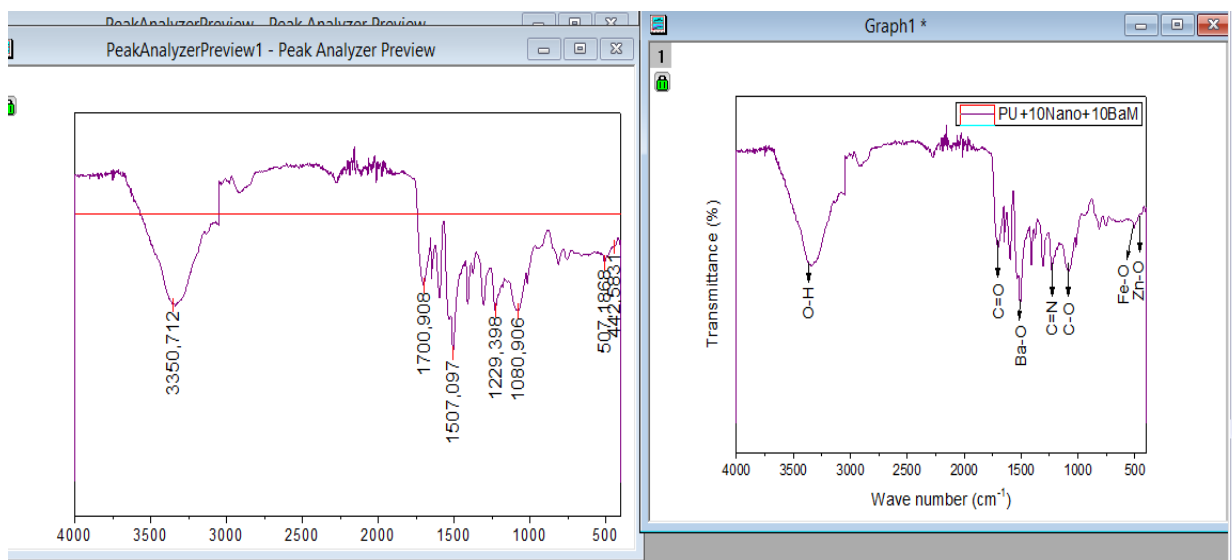
LAMPIRAN  
HASIL PENGOLAHAN UJI FTIR



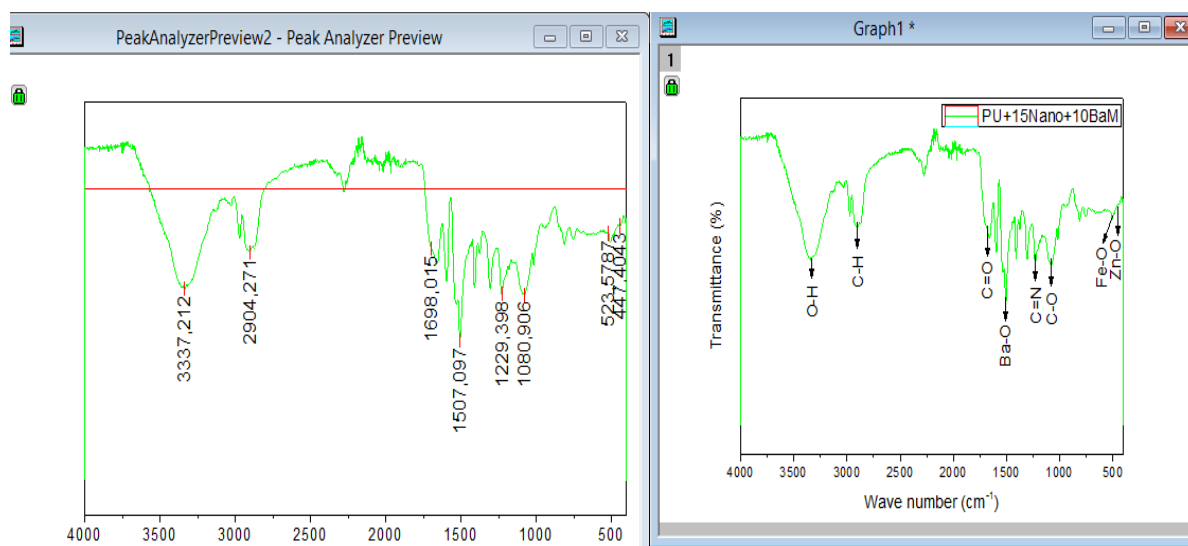
Gambar Hasil Pengolahan *Origin* Uji FTIR Poliuretan murni untuk menentukan *peak*



Gambar Hasil Pengolahan *Origin* Uji FTIR PU+Nano0%+Bam 10% untuk menentukan *peak*



Gambar Hasil Pengolahan *Origin Uji* FTIR PU+Nano10%+Bam 10% untuk menentukan *peak*



Gambar Hasil Pengolahan *Origin Uji* FTIR PU+Nano10%+Bam 10% untuk menentukan *peak*

**LAMPIRAN**  
**HASIL PENGOLAHAN UJI HARDNESS**

Percobaan	PU Murni	PU+Nano0%+ Bam 10%	PU+Nano10%+ Bam 10%	PU+Nano15%+ Bam 10%
1	15,5	12	11,5	18
2	15	11	16	20
3	15	11	10	20
<b>Rata-rata</b>	15,167	11,33	12,5	19,33



Gambar Hasil Uji Hardness  
Poluretan Murni



Gambar Hasil Uji Hardness  
PU+Nano0%+Bam 10%



Gambar Hasil Uji Hardness PU+ Nano  
10%+Bam 10%



Gambar Hasil Uji Hardness PU+ Nano  
15%+Bam 10%

**LAMPIRAN**  
**HASIL PENGOLAHAN UJI *FLAME RETARDANT***

<b>Spesimen</b>	<b>Distance (mm)</b>	<b>Time (s)</b>	<b>Velocity (mm/s)</b>	<b>Velocity Average (mm/s)</b>	<b>Temperature (°C)</b>
PUM 1	75	34,57	2,170	2,251	356,6
PUM 2	75	34,77	2,157		345,6
PUM 3	75	30,92	2,426		369,7
PU+Nano0%+Bam 10% 1	75	37,09	2,002	2,091	374,3
PU+Nano0%+Bam 10% 2	75	33,48	2,401		366,7
PU+Nano0%+Bam 10% 3	75	40,12	1,869		345
PU+Nano10%+Bam 10% 1	50	125,64	0,397	0,458	347,7
PU+Nano10%+Bam 10% 2	11	38,54	0,2854		381,1
PU+Nano10%+Bam 10% 3	32	46,21	0,692		334,4
PU+Nano15%+Bam 10% 1	13	35,16	0,369	0,45	389,6
PU+Nano15%+Bam 10% 2	12	27,52	0,436		390,5
PU+Nano15%+Bam 10% 3	17	31,16	0,545		401



Gambar Hasil Pengujian Laju Bakar



Gambar Hasil Spesimen Setelah dilakukan Pengujian *Flame Retardant*



Gambar Hasil Spesimen Setelah dilakukan Pengujian *Flame Retardant*



## BIODATA PENULIS



Penulis Bernama Andiyana Ilham Wahyudi, Putra dari Hosinol Imam dan Dyah Enggar Wati. Penulis dilahirkan di Kabupetan Trenggalek, Jawa Timur. Penulis memulai pendidikannya pada tahun 2006 di SD Negeri Gunung Sekar 1 Sampang. Penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama pada tahun 2012 di SMP Negeri 1 Sampang. Penulis melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Sampang pada tahun 2015. Pada tahun 2018 menjadi langkah awal bagi penulis untuk melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri di Departemen Teknik Material dan Metalurgi dengan program studi S1 Teknik Material dan metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, melalui jalur penerimaan mahasiswa baru SNMPTN pada tahun 2018. Selama menjalani masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan akademik sebagai *Awardee* Beasiswa Unggulan 2018, Juara 1-Madura Olimpiade Kedokteran Hewan Unair 2018, Juara 1-Madura dan Semifinalis Olimpiade Matematika ITS 2018, dan PKM-K Terdanai tahun 2021. Penulis juga turut aktif dalam kegiatan non-akademik sebagai Kabiro Kaderisasi PSDM D HMMT FTIRS-ITS 2020/2021, Ketua FORMAS ITS PENS PPNS 2020/2021, Senat Mahasiswa HMMT FTIRS-ITS 2019/2020, dan Anggota Legislatif BLM ITS 2020/2021. Sebagai persiapan dalam bekerja, penulis melaksanakan kerja praktik selama 1 bulan di PT. Bangun Arta Utama. Sementara itu, untuk menyelesaikan studi sarjana, penulis melakukan penelitian tugas akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Morfologi, Sifat Termal dan Mekanik pada Komposit Poliuretan dengan *Filler* Barium Heksaferit”. Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan memberikan tambahan referensi untuk penelitian selanjutnya.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*