

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI
KOMPOSIT n-OKTADEKANA/LIMBAH
POLISTIRENA/ FeCl_3 DENGAN PELARUT
TOLUENA**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia



Disusun Oleh:

ITA MASTIKA

NIM 1608036010

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2023**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI
KOMPOSIT n-OKTADEKANA/LIMBAH
POLISTIRENA/ FeCl_3 DENGAN PELARUT
TOLUENA**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia



Disusun Oleh:

ITA MASTIKA

NIM 1608036010

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Ita Mastika
NIM : 1608036010
Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

**“SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT n-
OKTADEKANA/LIMBAH POLISTIRENA/ FeCl_3 DENGAN
PELARUT TOLUENA”**

Secara menyeluruh merupakan hasil penelitian atau karya sendiri, kecuali pada bagian tertentu yang merujuk dari sumbernya.

Semarang, 27 Juni 2023

Pembuat pernyataan



Ita Mastika

NIM: 1608036010

HALAMAN PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini :

Judul : **Sintesis dan Karakterisasi Komposit
n-Oktadekana/Limbah Polistirena/FeCl₃
dengan Pelarut Toluena**

Nama : Ita Mastika

NIM : 1608036010

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang Ilmu Kimia.

Semarang, 27 Juni 2023

DEWAN PENGUJI

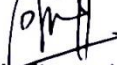
Ketua Sidang



Zidni Azizati, M.Sc.

NIP. 19901117 201801 2 001

Sekretari Sidang



Dyah Fitasari, M.Si.

NIP. 19850102 201903 2 017

Penguji I



Wirda Udaibah, M.Si.

NIP. 19850104 200912 2 003

Penguji II



Kholidah

NIP. 19850811 201903 2 008

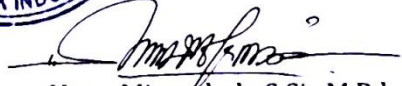
Pembimbing I



Zidni Azizati, M.Sc.

NIP. 19901117 201801 2 001

Pembimbing II



Nana Misrochah, S.Si., M.Pd.

NIP. 19860828 201903 2 009



NOTA DINAS

Semarang, 27 Juni 2023

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Sintesis dan Karakterisasi Komposit
n-Oktadekana/Limbah Polistirena/FeCl₃
dengan Pelarut Toluena**
Penulis : Ita Mastika
NIM : 1608036010
Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Pembimbing I



Zidni Azizati, M.Sc.
NIP. 19901117 201801 2 001

NOTA DINAS

Semarang, 27 Juni 2023

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Sintesis dan Karakterisasi Komposit
n-Oktadekana/Limbah Polistirena/ FeCl_3
dengan Pelarut Toluena**
Penulis : Ita Mastika
NIM : 1608036010
Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Pembimbing II



Nana Misrochah, S.Si., M.Pd.
NIP. 19860828 201903 2 009

ABSTRAK

Judul : **Sintesis dan Karakterisasi Komposit n-Oktadekana/Limbah Polistirena/FeCl₃ dengan Pelarut Toluena**
Penulis : Ita Mastika
NIM : 1608036010

Penggunaan batubara untuk memenuhi permintaan energi dalam jangka panjang mengakibatkan kelangkaan dan pemanasan global. Konservasi energi termal dengan *Phase Change Material* (PCM) merupakan proses alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu bahan PCM yaitu n-oktadekana (ODE), namun perlu ditambahkan FeCl₃ untuk meningkatkan konduktivitas dan stabilitas termal PCM. PCM harus dimikroenkapsulasi untuk mencegah kebocoran saat terjadinya perubahan fase. Salah satu polimer yang dapat digunakan untuk mikroenkapsulasi yaitu limbah polistirena, sekaligus sebagai salah satu langkah daur ulang untuk mengurangi pencemaran lingkungan oleh limbah polistirena.

Penelitian ini memaparkan mikroenkapsulasi n-oktadekana (ODE) oleh limbah polistirena (PS) dengan *filler* FeCl₃ menggunakan pelarut toluena. Data *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), komposit ODE/PS/FeCl₃ menunjukkan adanya gugus -CH₂, -CH₃, C=C, C-Cl dan Fe-O. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) komposit ODE/PS/FeCl₃ menunjukkan adanya pola difraksi ODE (2θ 19°, 21°, 22°), PS (2θ 20°) dan Fe₃O₄ (2θ 36°). Kristalinitas dan rata-rata ukuran kristal ODE/PS/FeCl₃ 0<0,5>1<1,5. Volume toluena paling optimum yaitu 40 mL dengan tingkat kebocoran komposit ODE/PS 0%.

Kata Kunci: Mikroenkapsulasi, PCM, limbah polistirena, FeCl₃.

TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam skripsi ini berpedoman pada SKB Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I Nomor : 158/1987 dan Nomor : 054/U/1987. Penyimpangan penulisan kata sanding [al-] disengaja secara konsisten supaya sesuai teks Arabnya.

ا	A	ط	ṭ
ب	B	ظ	ẓ
ت	T	ع	'
ث	Ṣ	غ	Gh
ج	J	ف	F
ح	ḥ	ق	Q
خ	Kh	ك	K
د	D	ل	L
ذ	ẓ	م	M
ر	R	ن	N
ز	Z	و	W
س	S	هـ	H
ش	Sy	ء	"
ص	ṣ	ي	Y
ض	ḍ		

Bacaan Mad :

ā = a panjang

ī = i panjang

ū = u Panjang

Bacaan Diftong :

au = اؤ

ai = اي

iy = !

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Sang Rahman Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahman dan rahimNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan penuh kemudahan. Shalawat dan salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada Nabi dan Rasul Muhammad saw, sang revolusioner dalam menegakkan kebenaran dan keadilan di muka bumi. Karena perjuangan beliau antara yang haq dan bathil menjadi jelas dan kebenaran hukum dapat ditegakkan.

Penulis menyusun skripsi ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan akademis dalam memperoleh gelar keserjanaan pada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dikarenakan keterbatasan pengetahuan dari penulis. Akan tetapi dengan usaha keras dan kemampuan yang ada serta dukungan para pihak, akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tiada batasnya kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Ismail, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

2. Ibu Hj. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd., selaku Ketua Prog Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Ibu Zidni Azizati, M.Sc. dan Nana Misrochah, S.Si., M.Pd. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam memberikan bimbingan serta arahan kepada penulis.
4. Ibu Anita , Mas Mughis dan segenap asisten yang telah membantu dalam proses penelitian dan pengarahan kepada penulis.
5. Segenap Bapak/Ibu dosen Jurusan Kimia UIN Walisongo Semarang yang telah memberikan dan membekali ilmu pengetahuan.
6. Kepada bapak Kusnaeni, ibu Murniati ayah dan ibu saya yang telah memberikan do'a, dukungan dan materi serta kasih sayang yang tulus dengan pengorbanan yang luar biasa.
7. Gusti Puji Pangestu adik saya tercinta yang selalu memberi motivasi untuk menjadikan saya sebagai seorang kaka yang baik.
8. Kepada teman teman Kimia 2016, terima kasih sudah menjadi keluarga kedua di UIN Walisongo. Semoga kelak nanti kita semua menjadi orang yang bermanfaat untuk agama, nusa dan bangsa.

9. Kepada teman spesial yang selalu menemani di setiap suka dan duka, semoga persahabatan ini menjadikan kita orang yang selalu termotivasi dalam hal kebaikan.
10. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung pelaksanaan penelitian mulai dari awal sampai akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini belumlah sempurna. Karena itu, penulis mengharap kritik dan saran yang bersifat membangun guna memperbaiki dan menyempurnakan skripsi ini. Penulis juga berharap, Semoga skripsi yang telah disusun dapat memberikan manfaat, sehingga dapat membantu dalam pengembangan riset dan ilmu pengetahuan.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iii
ABSTRAK	vi
TRANSLITERASI ARAB-LATIN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	7
C. Tujuan Penelitian.....	7
D. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Landasan Teori	8
1. Polistirena.....	8
2. n-Oktadekana (ODE)	9
3. Toluena	10
4. FeCl ₃ anhidrat	10
5. Mikroenkapsulasi In-situ.....	12

B. Karakterisasi.....	17
1. Analisis Kebocoran	17
2. FTIR.....	18
3. XRD.....	22
C. Kajian Pustaka.....	25
D. Hipotesis.....	27
BAB III METODE PENELITIAN	29
A. Alat dan Bahan.....	29
B. Metode.....	29
1. Preparasi Limbah Polistirena.....	29
2. Preparasi Mikroenkapsulasi Komposit n-Oktadekana Limbah Polistirena (ODE/PS) (Liu <i>et al.</i> , 2020).....	30
3. Preparasi Mikoroenkapsulasi Komposit ODE/PS dengan Filler FeCl ₃ (ODE/PS/FeCl ₃)	30
C. Karakterisasi.....	31
1. Analisis kebocoran komposit	31
2. FTIR.....	32
3. XRD.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
A. Preparasi Komposit ODE/PS.....	34
B. Analisis Kebocoran.....	35
C. Preparasi Komposit ODE/PS/FeCl ₃	37
D. Analisis FTIR.....	39
E. Analisis XRD	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47

A. Kesimpulan.....	47
B. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	49
DAFTAR LAMPIRAN.....	57
Lampiran 1 Langkah Kerja Penelitian.....	57
Lampiran 2 Analisis Tingkat kebocoran.....	60
Lampiran 3 Analisis % Kristalinitas.....	62
Lampiran 4 Analisis Rata-Rata Ukuran Komposit.....	63
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	79

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Interpretasi spektra FTIR komposit ODE/PS	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Rute manufaktur utama stirena	9
Gambar 2.2	Struktur toluena	10
Gambar 2.3	Perkiraan mekanisme enkapsulasi komposit	11
Gambar 2.4	Mikrokapsul	15
Gambar 2.5	Morfologi mikrokapsul	15
Gambar 2.6	Spektrum FTIR ODE murni	21
Gambar 2.7	Spektrum FTIR polistirena	21
Gambar 2.8	Spektrum FTIR FeCl ₃ anhidrat	22
Gambar 2.9	Difraktogram XRD ODE murni	23
Gambar 2.10	Difraktogram XRD PS	23
Gambar 2.11	Difraktogram XRD FeCl ₃ anhidrat	24
Gambar 4.1	(a) Komposit ODE/PS pelarut 10 mL, (b) Komposit ODE/PS pelarut 20 mL, (c) Komposit ODE/PS pelarut 30 mL, (d) Komposit ODE/PS pelarut 40 mL, (e) Komposit ODE/PS	35

	pelarut 50 mL	
Gambar 4.2	(a) Komposit ODE/PS/FeCl ₃ 0 gram, (b) Komposit ODE/PS/FeCl ₃ 0,5 gram, (c) Komposit ODE/PS/FeCl ₃ 1 gram, (d) Komposit ODE/PS/FeCl ₃ 1,5 gram	38
Gambar 4.3	Spektra FTIR komposit ODE/PS/FeCl ₃	39
Gambar 4.4	Difaktogram XRD komposit ODE/PS dengan FeCl ₃ 0 gram, ODE/PS dengan FeCl ₃ 0,5 gram, ODE/PS dengan FeCl ₃ 1 gram, ODE/PS dengan FeCl ₃ 1,5 gram	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1	Langkah Kerja Penelitian	57
Lampiran 2	Analisis Tingkat kebocoran	60
Lampiran 3	Analisis % Kristalinitas	62
Lampiran 4	Analisis Rata-Rata Ukuran Komposit	63

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan energi primer dipenuhi oleh sumber energi konvensional diantaranya batubara, bensin, dan solar serta sumber energi nonkonvensional yaitu energi matahari, bioenergi, energi angin, dan energi panas bumi (Kalidasan *et al.*, 2019). Sebanyak 50% dari 64,5 GW kapasitas energi listrik Indonesia berasal dari pembangkit energi konvensional batubara. Energi batubara masih menjadi pilihan utama untuk memenuhi permintaan energi listrik nasional hingga tahun 2050 (Siswanto *et al.*, 2019). Padahal penggunaan batubara dalam jangka panjang akan mengakibatkan kelangkaan secara substansial (Mekuto *et al.*, 2019) dan mengakibatkan pemanasan global karena menghasilkan polutan (Al-Hamed & Dincer, 2020), termasuk NO_x, SO_x, materi partikulat dan senyawa organik yang mudah menguap (Kalidasan *et al.*, 2019).

Peristiwa kerusakan alam oleh manusia telah tercantum dalam Al Qu'ran di antaranya surah Al A'raf ayat 56 dan surah Ar Rum ayat 41:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ

قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ (QS Al A'raf: 56)

Artinya: "Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik." (QS Al A'raf: 56) (Kementrian Agama RI, 2015)

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ (QS Ar Rum: 41)

Artinya: "Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar)." (QS Ar Rum: 41) (Kementrian Agama RI, 2015)

Berdasarkan banyaknya dampak negatif akibat produksi energi dengan batubara dan ayat tersebut maka sangat diperlukan proses alternatif yang dapat menghasilkan energi dengan cara yang lebih ramah lingkungan (Mekuto *et al.*, 2019). Sebagai alternatif batubara, dapat digunakan sumber energi terbarukan. Energi matahari sangat dipertimbangan karena merupakan sumber energi terbarukan yang paling

dominan di Indonesia yang mempengaruhi seluruh sumber terbarukan lainnya seperti energi angin, energi pasang surut, energi laut, energi hidro dan bioenergi secara langsung atau tidak langsung (Al-Hamed & Dincer, 2020). Tenaga surya tahunan tersedia sekitar 3.400.000 exajoule dan konsumsi energi di seluruh dunia untuk tahun 2017 hanya 565,7 exajoule. Dengan demikian, energi matahari cukup untuk memenuhi permintaan energi di seluruh dunia (Kalidasan *et al.*, 2019). Namun energi matahari hanya tersedia pada siang hari. Solusi utamanya adalah dengan pembuatan bahan penyimpanan energi (Al-Hamed & Dincer, 2020). Salah satunya yaitu konservasi energi termal dengan komposit *Phase Change Material* (PCM).

Komposit PCM adalah zat yang mampu menyerap, mengakumulasi dan melepaskan sejumlah energi termal per satuan massa dalam kisaran suhu transisi fase (Jouhara *et al.*, 2020). Komposit PCM membuat kemajuan dalam bidang energi termal dan telah diterapkan di berbagai bidang lainnya. Selama pemanasan, komposit padat meleleh menjadi fase cair. Oleh sebab itu komposit harus dibatasi untuk mencegah kebocoran dengan teknik mikroenkapsulasi komposit. Mikroenkapsulasi adalah proses pelapisan partikel inti dengan *film*

kontinyu dari bahan polimer (Nelson, 2011). Salah satu polimer yang dapat digunakan sebagai bahan mikroenkapsulasi komposit yaitu limbah polistirena, karena polistirena memiliki stabilitas termal dan listrik yang baik (Liu *et al.*, 2020; Mostafa *et al.*, 2022; Yoon *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2018). Keuntungan dari mikroenkapsulasi dengan polistirena yaitu mencegah kebocoran komposit selama proses perubahan fase, meningkatkan kecepatan perpindahan panas, mengontrol perubahan volume selama perubahan fase, dan menghilangkan kemungkinan reaktivitas komposit dengan bagian luar komposit (Naikwadi *et al.*, 2020).

Bahan komposit PCM yang paling populer adalah parafin (Zhang *et al.*, 2018). Salah satu jenis parafin yaitu n-oktadekana (ODE). ODE memiliki panas laten perubahan fase yang tinggi, tekanan uap rendah, sifat fisik dan kimia yang menguntungkan pada aplikasi komposit, tidak ada pemisahan fase dan tidak korosif, serta stabilitas kimia yang sangat baik. ODE juga memiliki panas laten yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan penyimpanan energi panas lainnya. Namun, ODE memiliki kelemahan, yaitu konduktivitas termal yang rendah (Zhang *et al.*, 2018). Sehingga perlu penambahan *filler* (pengisi) untuk

meningkatkan. Bahan *filler* yang dapat digunakan diantaranya SiC, B₄C, TiC, TiB, TiB₂, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Fe₃O₄ (Tjahjanti, 2018).

Katalis FeCl₃ dengan bantuan formaldehid dapat dikonversikan menjadi Fe₃O₄ untuk meningkatkan gerakan Brown. Gerakan Brown yaitu gerakan terus menerus partikel saat PCM mengalami fase cair. Peristiwa tersebut mengakibatkan tabrakan antar partikel yang meningkatkan konduktivitas termal (Apmann *et al.*, 2021) komposit sampai 61%. Kelebihan FeCl₃ lainnya yaitu dapat mempercepat reaksi mikroenkapsulasi dan memperkuat ikatan antara *matriks* polimer polistirena yang bermanfaat untuk aplikasi PCM (Liu *et al.*, 2020). Kekurangan dalam penelitian Liu *et al.* (2020) yaitu menggunakan pelarut 1,2-dichloroethane (DCE). Penggunaan DCE sangat tidak disarankan karena merupakan pelarut yang bersifat karsinogenik dan dikategorikan sebagai polutan udara yang berbahaya/*hazardous airborne pollutant* (HAP) (Alfonsi *et al.*, 2008). Zhang *et al.* (2018) memaparkan bahwa ODE dan polistirena dapat larut dengan baik menggunakan pelarut toluena, maka DCE dapat diganti dengan toluena sebagai alternatif pelarut yang lebih ramah lingkungan (Alfonsi *et al.*, 2008).

Kelemahan penelitian Zhang *et al* (2018) yaitu menggunakan polistirena murni sebagai bahan mikroenkapsulasi. Penggunaan polistirena murni akan menimbulkan masalah baru bagi lingkungan karena proses pengadaannya melalui proses *refinery* minyak bumi. Untuk mengurangi penggunaan polistirena sebagai bahan mikroenkapsulasi komposit, limbah polistirena dapat digunakan sebagai alternatifnya yang bermanfaat sebagai salah satu langkah daur ulang untuk mengurangi pencemaran lingkungan oleh limbah polistirena (Liu *et al.*, 2020) yang toksisitasnya berdampak pada permasalahan kesehatan manusia dan perubahan ekosistem (Urbanek *et al.*, 2020).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian pembuatan komposit ODE/PS murni/EG menggunakan pelarut toluena oleh Zhang *et al* (2018) dan pembuatan komposit parafin/limbah PS/FeCl₃ dengan pelarut DCE oleh Liu *et al* (2020). Tetapi penggunaan pelarut toluena pada sintesis komposit ODE/limbah PS/FeCl₃ belum pernah dilakukan sebelumnya. Sehingga dilakukan penelitian penggunaan pelarut toluena pada sintesis komposit ODE/limbah PS/FeCl₃.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang yang telah ditemukan dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik komposit ODE/PS/FeCl₃ yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh volume pelarut toluena terhadap tingkat kebocoran komposit ODE/PS yang dihasilkan?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik komposit ODE/PS/FeCl₃ yang dihasilkan.
2. Untuk pengaruh volume pelarut toluena terhadap tingkat kebocoran komposit ODE/PS yang dihasilkan.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terhadap pengembangan mikroenkapsulasi komposit sebagai salah satu langkah untuk meminimalisir limbah polistirena yang kemudian dapat digunakan sebagai bahan pendukung dalam pembuatan bahan penyimpan energi.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

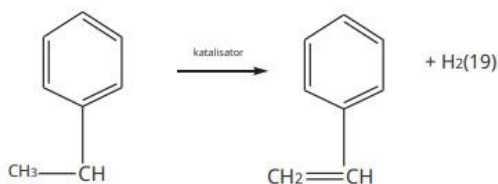
A. Landasan Teori

1. Polistirena

Resin yang paling banyak digunakan dalam produksi adalah polistirena yang mewakili 7% dari semua plastik karena merupakan kelas polimer termoplastik berlapis rendah yang menjanjikan (Huan *et al.*, 2015). Polistirena biasanya berbentuk termoplastik padat pada suhu kamar. Tetapi dapat dicairkan pada suhu yang lebih tinggi untuk pencetakan atau ekstrusi, kemudian dipadatkan kembali (Yousif & Haddad, 2013). Polistirena merupakan salah satu polimer termoplastik yang paling berguna dan murah karena transparan, tidak berwarna, dan bahan yang serbaguna (Mostafa *et al.*, 2022). Selain itu, polistirena memiliki ketahanan termal (Yoon *et al.*, 2017) dan listrik yang tinggi dengan titik leleh 260 °C (Sarker *et al.*, 2011). Sifat yang berbeda ini membuatnya banyak digunakan di beberapa bidang aplikasi, seperti bahan transparan untuk kemasan makanan, penutup listrik, isolator, penutup lampu, filter, tekstil (Mostafa *et al.*,

2022) dan peralatan laboratorium (Yousif & Haddad, 2013).

Polistirena adalah polimer aromatik sintetik yang diproduksi dengan polimerisasi adisi dari monomer stirena (Urbanek *et al.*, 2020). Rute manufaktur utama untuk stirena adalah dehidrogenasi katalitik langsung dari etil benzena (Yousif & Haddad, 2013)



Gambar 2.1 Rute manufaktur utama stirena (Yousif & Haddad, 2013)

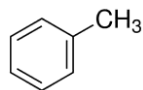
2. n-Oktadekana (ODE)

n-Oktadekana (ODE) digunakan dalam penelitian ini karena tersedia secara komersial dengan harga yang wajar dan menunjukkan efisiensi yang lebih baik dan digunakan oleh banyak peneliti dalam berbagai aplikasi (Manikandan *et al.*, 2020) salah satunya PCM karena memiliki titik leleh hampir sama dengan suhu lingkungan sekitar 26-28°C (Faden *et al.*, 2019). ODE merupakan alkana rantai lurus C_nH_{2n+2} dengan n genap

($18 < n < 26$) mengkristal dalam sistem triklinik (Nyburg & Luth, 1972).

3. Toluena

Toluena diadopsi sebagai pelarut karena PS maupun ODE larut dengan baik dalam toluena (Zhang *et al.*, 2018). Toluena merupakan cairan bening, tidak berwarna dengan aroma khas. Toluena adalah senyawa alami yang berasal dari proses petrokimia. Beberapa toluena diperoleh dari pembuatan kokas metalurgi. Toluena juga disebut sebagai totuol methylbenzena, methacide, dan phenymethane. Toluena merupakan hidrokarbon aromatik dengan rumus $C_6H_5CH_3$. Mendidih pada $111\text{ }^\circ\text{C}$ dan memiliki tekanan uap 30 mm Hg pada suhu ruang. Kelarutan toluena dalam air adalah 535 mg/L dan dapat bercampur dengan berbagai pelarut organik (Costle *et al.*, 1980).

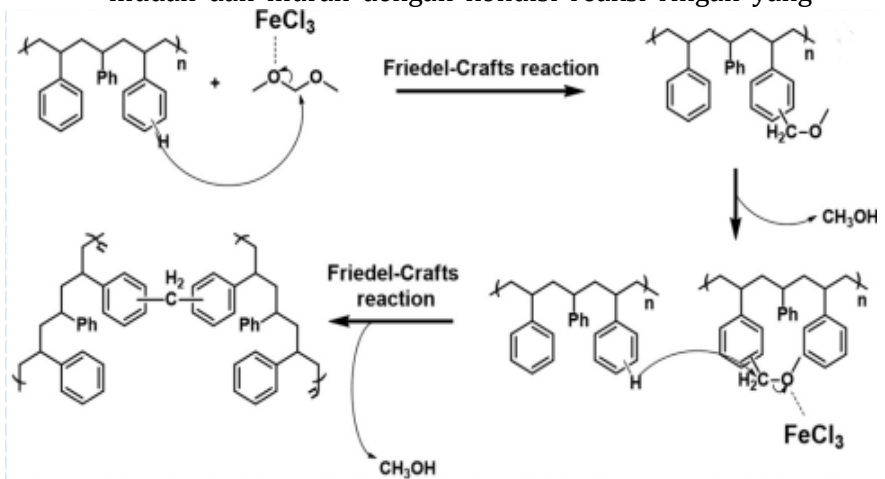


Gambar 2.2 Struktur toluena (Linford, 2014)

4. $FeCl_3$ anhidrat

$FeCl_3$ anhidrat merupakan reagen dengan sifat korosif pada logam, toksisitas akut, dapat mengiritasi kulit serta menyebabkan kerusakan pada mata yang serius. Tetapi $FeCl_3$ merupakan asam lewis yang baik

dan telah digunakan secara luas dan efektif sebagai katalis dalam berbagai jenis reaksi kimia (Sun *et al.*, 2017). FeCl_3 dapat melekat sebagian ke dalam rantai polimer atau berada pada batas amorf/kristal dan berdifusi secara istimewa melalui daerah amorf yang membentuk kompleks transfer muatan atau mungkin ada dalam bentuk agregat molekuler di antara rantai polimer (Abdelrazek, 2007). Polimerisasi oksidatif dengan FeCl_3 dianggap sangat bermanfaat karena mudah dan murah dengan kondisi reaksi ringan yang



akan cocok untuk produksi skala besar (Cai *et al.*, 2010).

Gambar 2.3 Perkiraan mekanisme enkapsulasi komposit (Liu *et al.*, 2020)

Cincin fenil kerangka polistirena bereaksi dengan FDA dengan bantuan FeCl_3 membentuk perantara yang kemudian direaksikan dengan unit polistirena lainnya untuk menyelesaikan proses *hypercrosslinking* menghasilkan area permukaan spesifik yang dan struktur berpori dengan stabilitas yang baik (Liu *et al.*, 2020).

5. Mikroenkapsulasi In-situ

Enkapsulasi merupakan suatu teknik pelapisan suatu material inti menggunakan substansi yang lain untuk lapisan luar atau pembungkusnya. Material yang dienkapsulasi dapat berupa material padat, cair, maupun gas. Material yang dienkapsulasi ini umumnya merupakan suatu senyawa aktif yang perlu dibatasi bahkan dilindungi dari lingkungan luar agar tidak terjadi reaksi yang tidak diinginkan (Helmyati *et al.*, 2018).

Enkapsulasi adalah proses di mana suatu partikel yang sangat kecil dari bahan dilapisi dengan film kontinyu dari bahan polimer. Bahan yang akan dienkapsulasi biasanya disebut sebagai bahan inti, namun bisa juga disebut dengan fase internal, fase aktif, muatan atau isi. Biasanya konten inti akan memiliki

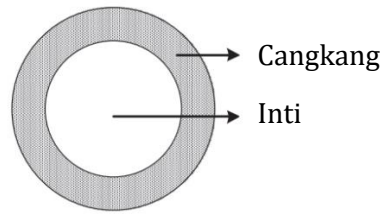
berat sekitar 80% meskipun apa pun hingga 95% dimungkinkan (Nelson, 2011).

Melimpahnya polimer alam dan polimer buatan manusia memberikan ruang lingkup yang luas dalam pemilihan material *shell*, yang memungkinkan pembuatan *shell* dapat ditembus (*permeable*), setengah tembus (*semi-permeable*) atau tidak dapat ditembus (*impermeable*). Kulit *permeable* digunakan untuk aplikasi pelepasan (*release*), sedangkan kapsul *semi-permeabel* biasanya kedap terhadap bahan inti (*core*) tetapi *permeable* terhadap cairan dengan berat molekul rendah. Oleh karena itu kapsul tersebut dapat digunakan untuk menyerap zat dari lingkungan dan membebaskannya kembali ketika dibawa ke media lain. Kapsul yang *impermeable* membungkus bahan inti dan melindunginya dari lingkungan eksternal. Oleh karena itu, untuk melepaskan materi isi dari kapsul harus dipecah oleh tekanan luar, dilelehkan, dikeringkan, dilarutkan dalam pelarut atau dirusak di bawah pengaruh cahaya (Evi, Budianto, 2012).

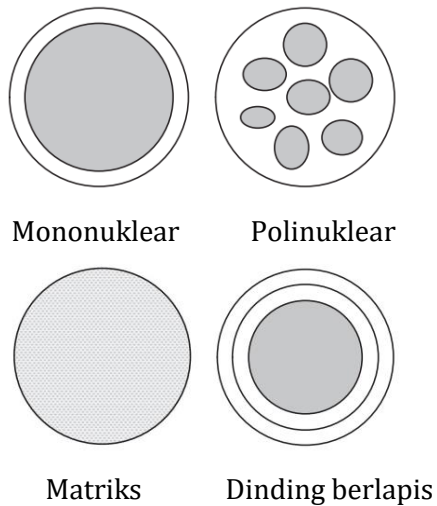
Ada tiga cara enkapsulasi: nanoenkapsulasi, mikroenkapsulasi, makroenkapsulasi dan stabilisasi bentuk (Su *et al.*, 2018). Mikroenkapsulasi adalah proses pelapisan partikel individu atau tetesan dengan

film terus menerus (Jamekhorshid *et al.*, 2014) untuk menghasilkan enkapsulasi partikel dengan diameter lebih kecil dari 1 milimeter (Ushak *et al.*, 2016). Bahan perubahan fase mikroenkapsulasi terdiri dari dua bagian utama: komposit sebagai inti dan polimer atau cangkang anorganik sebagai wadah komposit seperti gambar 2.4. Mikrokapsul mungkin memiliki bentuk yang teratur misalnya bulat, tabung, dan oval atau dapat dibuat dalam bentuk yang tidak beraturan. Gambar 2.6 menggambarkan bentuk khas mikrokapsul yang terutama bergantung pada bahan inti dan proses pengendapan cangkang (Jamekhorshid *et al.*, 2014).

Mikroenkapsulasi memiliki beberapa tujuan, seperti menahan komposit saat fase cair untuk mencegah perubahan komposisi komposit karena kontak dengan lingkungan luar komposit, mengurangi tingkat perubahan volume internal dan eksternal komposit, meningkatkan perpindahan panas dari dan ke sekitar mikrokapsul komposit karena dengan ukuran mikro luas permukaan penyerapan komposit akan bertambah, dan meningkatkan stabilitas siklus perubahan fase karena pemisahan fase dibatasi jarak mikroskopis (Ushak *et al.*, 2016).



Gambar 2.4 Mikrokapsul (Jamekhorshid *et al.*, 2014).



Gambar 2.5 Morfologi mikrokapsul (Jamekhorshid *et al.*, 2014)

Proses mikroenkapsulasi dapat dikategorikan menjadi dua kelompok yaitu metode fisika dan metode kimia. Metode fisika: *spray drying*, *multiple multiple nozzle spraying*, *fluidized bed coating*, ekstruksi

sentrifugal, ekstruksi, *microfluidic channels*. Metode kimia: polimerisasi antar muka, polimerisasi in-situ, polikondensasi, koaservasi, pemisahan fase, *layer-by-layer assembly* (Nguon *et al.*, 2018). Metode fisik dibatasi oleh ukuran butiran sehingga pembuatannya berguna untuk memproduksi partikel komposit mikroenkapsulasi, dan metode kimia dapat menghasilkan partikel komposit terenkapsulasi yang jauh lebih kecil (Su *et al.*, 2015).

Sistem polimer termoplastik dan termoset telah digunakan untuk menghasilkan komposit polimer menggunakan pendekatan sintesis in-situ (Osman *et al.*, 2003). Polimerisasi in-situ adalah teknik enkapsulasi kimia yang sangat mirip dengan polimerisasi antarmuka. Karakteristik yang membedakan dari polimerisasi in-situ adalah bahwa tidak ada reaktan yang termasuk dalam bahan inti. Semua polimerisasi terjadi dalam fase kontinu, bukan di kedua sisi antarmuka antara fase kontinu dan bahan inti, seperti dalam polimerisasi antarmuka (Nelson, 2011). Polimerisasi in-situ merupakan metode yang menguntungkan untuk memperoleh polimer/partikel komposit anorganik dalam skala besar. Partikel akan diimpregnasi dengan monomer mengikuti proses

polimerisasi menggunakan berbagai metode. Metode yang memungkinkan agar memperoleh partikel polimer monodispersi menggunakan air sebagai media dispersi yaitu emulsi polimerisasi (Dragostin *et al.*, 2017).

B. Karakterisasi

1. Analisis Kebocoran

Analisis kebocoran dinyatakan dengan Lr. Analisis ini digunakan untuk menghitung persen tingkat kebocoran mikrokapsul komposit secara sederhana menggunakan oven. Beberapa gram masing-masing sampel ditimbang dan mendapatkan massa awal (M_0). Kemudian dipanaskan dengan oven pada suhu tertentu selama beberapa waktu. Setelah dilakukan pemanasan, sampel ditimbang dan menghasilkan massa setelah pemanasan (M_n). Tingkat kebocoran dihitung dengan persamaan berikut (Jiang *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2017):

$$Lr (\%) = \frac{M_0 - M_n}{M_0} \times 100\% \quad (2.1)$$

dimana,

Lr = Kebocoran (%)

M_0 = Massa komposit sebelum pemanasan(gram)

M_n = Massa komposit sesudah pemanasan (gram)

2. FTIR

Fourier Transform Infrared Spectroscopy digunakan untuk menentukan gugus fungsi komposit (Zhang *et al.*, 2018). FTIR merupakan instrumentasi untuk mengukur besarnya radiasi inframerah. Spektrofotometer FTIR banyak digunakan untuk mempelajari suatu material melalui analisa struktur ataupun gugus fungsinya. Suatu radiasi inframerah yang melewati suatu molekul, maka molekul tersebut akan menyerap sejumlah energi yang dipancarkan sehingga menyebabkan ikatan pada suatu molekul mengalami vibrasi atau getaran. Berbeda dengan serapan ultraviolet dengan energinya yang mampu mengeksitasi sebuah elektron menuju orbital dengan tingkat energi yang lebih tinggi, radiasi inframerah tidak memiliki cukup energi untuk membuat elektron tereksitasi. Dengan demikian, serapan inframerah dengan energinya hanya mampu menyebabkan bergetarnya atom-atom yang saling berikatan dalam suatu molekul, dimana suatu tipe ikatan atau gugus fungsi tertentu akan mengadsorp radiasi inframerah pada panjang gelombang yang khas atau spesifik (Sari, 2010).

FTIR lebih banyak digunakan untuk mempelajari molekul yang dapat mengalami dua jenis perubahan

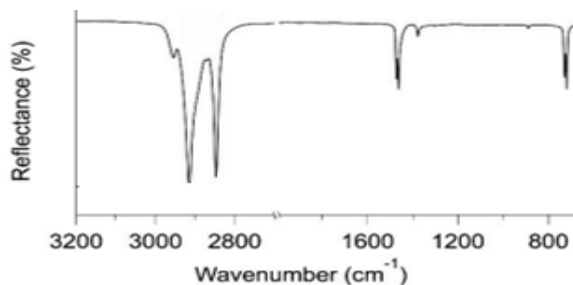
yaitu *stretching vibration* (vibrasi ulur) menyebabkan perubahan panjang ikatan dan *bending vibration* (vibrasi tekuk) yang menyebabkan perubahan sudut ikatan. Perubahan pada panjang ikatan biasanya terjadi pada energi atau frekuensi yang tinggi karena *stretching* membutuhkan energi yang lebih tinggi dibandingkan *bending vibration*. Berdasarkan hukum Hooke, bertambahnya massa atom-atom akan memvibrasi atom-atom pada frekuensi yang lebih rendah atau pada energi yang lebih rendah (Khan *et al.*, 2018).

Spektrum elektromagnetik dari inframerah terbagi dalam tiga daerah diantaranya inframerah dekat (*overtone region*) berkisar pada $0,8-2,5\mu\text{m}$ ($12500-4000\text{ cm}^{-1}$), inframerah tengah (*vibration-rotation region*) berkisar pada $2,5-50\mu\text{m}$ ($4000-200\text{ cm}^{-1}$), dan inframerah jauh (*rotation region*) berkisar $50-1000\mu\text{m}$ ($12500-4000\text{ cm}^{-1}$). Adapun daerah utama untuk tujuan analisis berkisar $2,5-25\mu\text{m}$ (Vogel, 1989). Umumnya, spektra inframerah untuk identifikasi molekul terbagi ke dalam empat bagian, diantaranya sebagai berikut.

- a. Daerah $4000-2500\text{ cm}^{-1}$, untuk adsorpsi ikatan tunggal hidrogen dengan unsur-unsur lainnya seperti O-H, N-H, dan C-H.

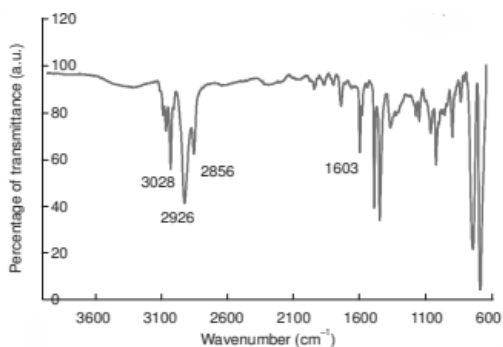
- b. Daerah 2000-2500 cm^{-1} untuk adsorpsi rangkap tiga, $\text{C}\equiv\text{C}$, $\text{C}\equiv\text{N}$.
- c. Daerah 2000-2500 cm^{-1} untuk adsorpsi rangkap dua, seperti $\text{C}=\text{C}$ dan $\text{C}=\text{O}$.
- d. Daerah 1500-2000 cm^{-1} , dimana daerah dari 1000-1500 cm^{-1} biasanya digunakan untuk mengidentifikasi adsorpsi $\text{C}-\text{O}$, $\text{C}-\text{C}$, dan vibrasi bending lainnya. Sedangkan daerah 700-400 cm^{-1} biasanya disebut sebagai daerah *Fingerprint*.

Analisis FTIR pada penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi gugus fungsi senyawa-senyawa berikut: wilayah mode peregangan C-H pada puncak serapan 3200 cm^{-1} hingga 2800 cm^{-1} . Beberapa puncak serapan pada 3082 cm^{-1} , 3060 cm^{-1} dan 3026 cm^{-1} dari getaran regangan C-H aromatik, pita serapan pada 2916 cm^{-1} dan 2849 cm^{-1} masing-masing dari peregangan asimetris dan simetris vibrasi gugus metilen $-\text{CH}_2$. Puncak serapan pada 1471 cm^{-1} karena adanya getaran tekuk C-H. Puncak serapan pada 1493 cm^{-1} dan 1452 cm^{-1} berasosiasi dengan getaran regangan cincin benzena $\text{C}=\text{C}$, dan puncak serapan pada 757-697 cm^{-1} untuk getaran deformasi cincin benzena (Zhang *et al.*, 2018).



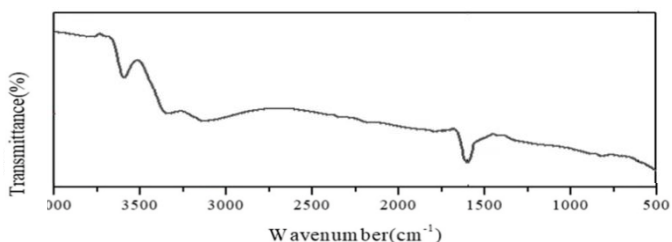
Gambar 2.6 Spektrum FTIR ODE murni (Baglioni *et al.*, 2018)

Gambar 2.6 menunjukkan adanya sinyal karena peregangan asimetris hidrokarbon alifatik pada 2915 cm^{-1} dan pada 2848 cm^{-1} terjadi peregangan simetris hidrokarbon alifatik. Vibrasi *in-plane* hidrokarbon alifatik terletak pada 1471 , 1464 , dan 1375 cm^{-1} . Sedangkan puncak akibat gugus vibrasi yang sama ditemukan pada 720 m^{-1} (Baglioni *et al.*, 2018).



Gambar 2.7 Spektrum FTIR polistirena (Wankasi & Dixon, 2014)

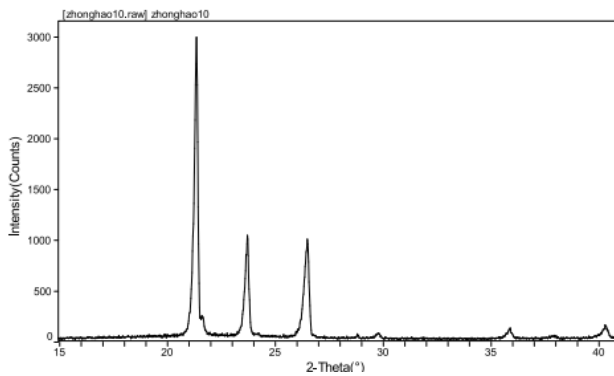
Gambar 2.7 menyajikan spektrum FTIR polistirena. Puncak tajam pada 3000-2800 cm^{-1} terjadi karena peregangan C-H aromatik. 1700-1500 cm^{-1} karena C=C aromatik dan 3000-2800 cm^{-1} karena peregangan C-H alkane. 1600-1300 cm^{-1} karena pembengkokan C-H alifatik dan 1750-1735 cm^{-1} karena peregangan ester (karbonil) C=O (Wankasi & Dixon, 2014).



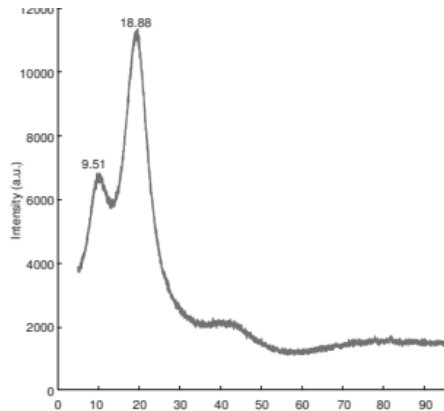
Gambar 2.8 Spektrum FTIR FeCl_3 (Sheng *et al.*, 2020)

3. XRD

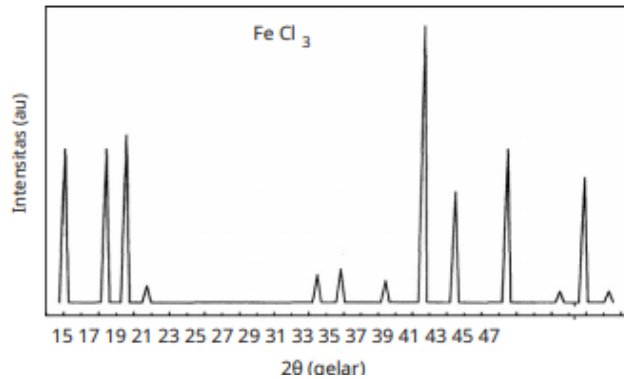
Fase kristaloid komposit dieksplorasi oleh X-ray *Diffraction* (XRD) dengan metode pemindaian dengan kecepatan tertentu dari $5^\circ(2\theta)$ /menit dan kondisi operasi tetap 40 kV dan 15 mA.



Gambar 2.9 Difraktogram XRD ODE murni (Rao & Zhang, 2011)



Gambar 2.10 Difraktogram XRD PS (Donbebe & Dikio, 2014)



Gambar 2.11 Difraktogram XRD FeCl_3 anhidrat
(Abdelrazek, 2007)

Uji instrumen XRD juga digunakan untuk mengetahui ukuran komposit yang dihasilkan. Persamaan Debye-Scherrer banyak digunakan untuk perhitungan ukuran kristal dari difraktogram XRD. Ukuran kristal diasumsikan sebagai domain difraksi yang koheren, tidak harus sama dengan ukuran partikel. Persamaan Debye-Scherrer mengaitkan puncak XRD yang melebar ke ukuran kristal secara eksklusif yang dinyatakan sebagai berikut: (Bindu & Thomas, 2014)

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (2.2)$$

dimana

D= ukuran kristal (nm)

K = konstanta faktor bentuk kristal (0,90)

λ = panjang gelombang XRD (0,15406 nm)

β = nilai *Full Width at Half Minimum* (FWHM) (rad)

θ = sudut difraksi ($^{\circ}$)

C. Kajian Pustaka

Kajian penelitian terdahulu yang dijadikan penulis sebagai bahan acuan dan pertimbangan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

Zhang *et al* (2018) membuat komposit ODE/PS/EG sebagai *polystyrene-based form-stable composite phase change materials* (CPCMs) dengan metode larutan dan refluks. n-oktadekana (ODE) digunakan sebagai bahan penyimpanan energi panas, polistirena (PS) bertindak sebagai bahan pendukung, dan grafit diperluas (EG) sebagai *filler* untuk meningkatkan konduktivitas termal komposit. Penelitian ini menunjukkan nilai kalor laten CPCM dengan kandungan ODE tertinggi (48,5 wt%) adalah 98,05 J/g dengan suhu leleh rendah yaitu 27,5°C. Penggunaan ODE menjadikan material CPCM menjadi stabil dan sangat menjanjikan sebagai penyimpanan energi panas dalam sistem penyimpanan energi panas matahari.

Liu *et al* (2020) mengenkapsulasi komposit berbahan dasar parafin dengan limbah polistirena. Menghasilkan komposit dengan tingkat enkapsulasi mencapai 68,7%. Hal

ini dapat membuktikan bahwa limbah polistirena layak digunakan sebagai bahan enkapsulasi komposit. Pada penelitian ini juga digunakan katalis FeCl_3 . Secara singkat, cincin fenil kerangka polistirena bereaksi dengan FDA dengan bantuan FeCl_3 membentuk perantara yang kemudian direaksikan dengan unit polistirena lainnya untuk menyelesaikan proses *hypercrosslinking*. Reaksi *hypercrosslinking* berkaitan dengan ketahanan dan kinetika reaksi *Friedel-Crafts* yang cepat sehingga menghasilkan area permukaan spesifik yang besar dan struktur berpori dengan stabilitas yang baik. Selain itu FeCl_3 dikonversikan menjadi oksida besi untuk meningkatkan ekonomi atom yang secara maksimal dapat meningkatkan konduktivitas dan stabilitas termal komposit dibandingkan dengan parafin murni.

Srinivasaraonik (2020) mengerjakan mikroenkapsulasi komposit yang disintesis dengan campuran eutektik (75% SA+25% CA) sebagai inti dan melamin formaldehida (MF) sebagai cangkang menggunakan polimerisasi in-situ. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses enkapsulasi in-situ menghasilkan peningkatan stabilitas termal campuran eutektik, meningkat dari 202,5 menjadi 212,3 °C, dan enkapsulasi M-PCM ditemukan sampai 85,3%. Titik leleh

dan panas laten fusi M-PCM ditemukan masing-masing 34,5 ° C dan 103,9 kJ / kg.

Abdelrazek (2007) menyiapkan film polietilmetakrilat (PEMA) murni dan didoping FeCl_3 . Hasil menjelaskan bahwa FeCl_3 memiliki kecenderungan yang baik untuk melakukan beberapa fase kristal dalam matriks polimer. Penambahan FeCl_3 ke film PEMA menyebabkan pembentukan beberapa fase kristal teratur dengan konsentrasi yang bergantung pada kandungan FeCl_3 . Keseragaman kristal yang dihasilkan berakibat pada peningkatan stabilitas termal PEMA.

Berdasarkan penelitian tersebut maka akan dilakukan penelitian mikroenkapsulasi in-situ komposit ODE dengan limbah polistirena dan FeCl_3 sebagai *filler* untuk menghasilkan salah satu material pendukung dalam penyimpanan energi.

D. Hipotesis

FeCl_3 diharapkan akan melekat sebagian ke dalam rantai polimer membentuk kompleks transfer muatan atau mungkin ada dalam bentuk agregat molekuler di antara rantai polimer. Cincin fenil kerangka polistirena akan bereaksi dengan FeCl_3 dengan bantuan formaldehid membentuk perantara berupa gugus Fe-O (Fe_3O_4) dan C-Cl. Gugus tersebut akan direaksikan dengan unit

polistirena untuk menghasilkan area permukaan spesifik dengan gugus fungsi C=C, C-H, -CH₂, -CH₃. Semakin besar volume pelarut toluena tingkat kebocoran ODE/PS akan semakin kecil, karena bertambahnya volume pelarut mengakibatkan emulsi ODE/PS saat reaksi semakin stabil.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah labu alas bulat, pipet volume, oven, *magnetic stirrer*, *thermometer*, gelas beaker, gelas ukur, batang pengaduk, cawan porselein, spatula, neraca analitik, klem dan statif, FTIR (*Bruker Alpha II*) dan XRD (*Rigaku Miniflex 600 Benchtop*).

2. Bahan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah limbah polistirena (*styrofoam* dari limbah pembungkus makanan), ODE PA (*Sigma Aldrich*), serbuk reagen analitik FeCl_3 anhidrat (*Smart-Lab*), toluena PA (*Smart-Lab*), cairan FDA PA (*Smart-Lab*), aquades, kertas saring, alumunium foil (*Bestfresh*).

B. Metode

1. Preparasi Limbah Polistirena

Limbah polistirena dicuci dan dibilas menggunakan aquades kemudian dikeringkan dengan diangin-anginkan. Setelah limbah polistirena kering, selanjutnya

limbah polistirena dipotong menjadi ukuran 0,5×0,5 cm.

2. Preparasi Mikroenkapsulasi Komposit n-Oktadekana Limbah Polistirena (ODE/PS) (Liu *et al.*, 2020)

Komposit ODE/PS disiapkan dengan melelehkan 10 gram ODE pada suhu 80°C dalam labu alas bulat 100 mL. Kemudian ditambahkan larutan limbah PS. Larutan limbah PS dibuat dengan melarutkan 1,5 gram limbah PS menggunakan pelarut toluena dengan variasi 10, 20, 30, 40, 50 mL pada suhu ruang. Setelah ODE dan larutan limbah PS homogen, kemudian ditambah 3,2 mL FDA dalam kondisi pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 120°C selama 8 jam. Kemudian dilakukan analisis kebocoran untuk mendapatkan ODE/PS dengan volume toluena yang paling optimum.

3. Preparasi Mikroenkapsulasi Komposit ODE/PS dengan *Filler* FeCl₃ (ODE/PS/FeCl₃)

Komposit ODE/PS/FeCl₃ disiapkan dengan melelehkan 10 gram ODE pada suhu 80°C dalam labu alas bulat 100 mL. Kemudian ditambahkan larutan limbah PS. Larutan limbah PS dibuat dengan melarutkan 1,5 gram polistirena menggunakan pelarut toluena pada suhu ruang dengan volume optimum pada prosedur sebelumnya. Setelah ODE dan larutan limbah

PS homogen, kemudian ditambah 3,2 mL FDA dan FeCl_3 anhidrat dengan variasi 0,5; 1; 1,5 gram secara berurutan dan diaduk pada suhu 120°C selama 8 jam. Komposit diperoleh dengan bentuk padatan coklat gelap dicuci dengan akuades dan dikeringkan dalam oven pada 80°C selama 12 jam.

C. Karakterisasi

1. Analisis kebocoran komposit

Analisis tingkat kebocoran dinyatakan dengan Lr. Satu gram masing-masing sampel komposit ODE/PS dengan toluena 10, 20, 30, 40 dan 50 mL diletakkan pada kertas saring sebagai massa awal (M_0). Kemudian dipanaskan dengan oven pada suhu 80°C selama 2 jam. Sampel ditimbang dan menghasilkan massa setelah pemanasan (M_n). Selisih M_n dengan M_0 disebabkan oleh perubahan massa inti mikrokapsul komposit yang terjadi karena adanya deformasi cangkang mikrokapsul yang disebabkan karena depresi material akibat pemanasan. Kemudian tingkat kebocoran dihitung dengan persamaan berikut (Jiang *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2017):

$$\text{Lr} (\%) = \frac{M_0 - M_n}{M_0} \times 100\% \quad (3.1)$$

dimana,

L_r = Kebocoran (%)

M_0 = Massa komposit sebelum pemanasan (gram)

M_n = Massa komposit sesudah pemanasan (gram)

2. FTIR

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) digunakan untuk menentukan gugus fungsi komposit ODE/PS/FeCl₃ 0; 0,5; 1 dan 1,5 gram. Satu miligram sampel ODE/PS/FeCl₃ 0; 0,5; 1 dan 1,5 gram digiling menjadi bubuk, dan kemudian dicampur dengan 100 mg KBr murni kering (AR grade), ukuran partikel campuran sekitar 2 μ m (200 mesh), kemudian campuran dicetak di bawah tekanan 20MPa selama 2 menit, dan diperoleh lembaran transparan. Kemudian dianalisis dengan FTIR dari bilangan gelombang 400 hingga 4000 cm⁻¹ dengan resolusi 2 cm⁻¹.

3. XRD

Fase kristaloid komposit ODE/PS/FeCl₃ 0; 0,5; 1 dan 1,5 gram dieksplorasi oleh *X-ray Diffraction* (XRD) dengan mode pemindaian dengan kecepatan 4-80°(2 θ)/menit dan kondisi operasi tetap 40 kV dan 15 mA. Serbuk sampel diisikan ke dalam sumur kaca 20 mm×20 mm×0,5 mm dan dipadatkan kemudian dianalisis dengan instrumen XRD.

Ukuran kristal dihitung dari difraktogram XRD menggunakan persamaan Debye-Scherrer dinyatakan sebagai berikut: (Bindu & Thomas, 2014)

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

dimana

D= ukuran kristal (nm)

K= konstanta faktor bentuk kristal (0,90)

λ = panjang gelombang XRD (0,15406 nm)

β = nilai *Full Width at Half Minimum* (FWHM) (rad)

θ = sudut difraksi (°)

dengan nilai β dan θ yang diperoleh dari analisis melalui *software origin lab*.

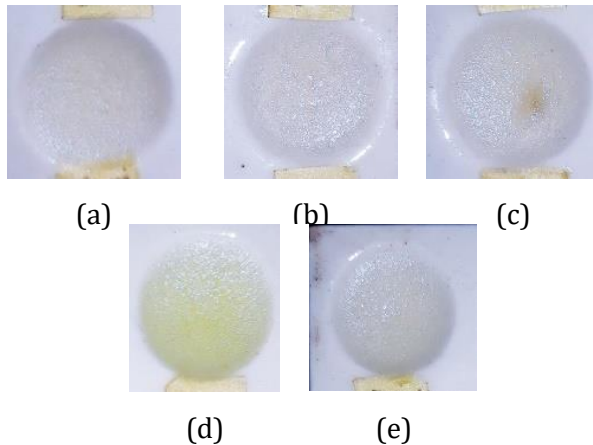
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi Komposit ODE/PS

Percobaan diawali dengan preparasi limbah polistirena. Limbah polistirena dicuci dan dibilas menggunakan akuades kemudian dikeringkan dengan diangin-anginkan. Setelah limbah polistirena kering, selanjutnya limbah polistirena dipotong menjadi ukuran 0,5×0,5 cm dan limbah polistirena siap digunakan sebagai bahan komposit.

Komposit ODE/PS disiapkan dengan melelehkan ODE pada suhu 80°C dalam labu alas bulat 100 mL. Lelehan ODE ditambahkan pelarut toluena dengan variasi 10, 20, 30, 40, 50 mL dan limbah polistirena 1,5 gram. Setelah limbah polistirena larut sepenuhnya, 3,2 mL FDA ditambahkan dalam kondisi pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 120°C selama 8 jam. Material yang dihasilkan berupa padatan lilin berwarna putih seperti pada gambar 4.1. Material yang didapat kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat kebocoran komposit masing-masing volume pelarutnya dengan perhitungan tingkat kebocoran (Lr).



Gambar 4.1 (a) Komposit ODE/PS pelarut 10 mL, (b) Komposit ODE/PS pelarut 20 mL, (c) Komposit ODE/PS pelarut 30 mL, (d) Komposit ODE/PS pelarut 40 mL, (e) Komposit ODE/PS pelarut 50 mL

B. Analisis Kebocoran

Analisis kebocoran dinyatakan dengan tingkat kebocoran (L_r). Analisis L_r dilakukan untuk mengetahui volume optimum pelarut toluena dalam pembuatan mikroenkapsulasi komposit ODE/PS. Analisis L_r dilakukan dengan pengukuran 0,5 gram masing-masing sampel komposit ODE/PS sebagai massa awal (M_0). Kemudian dipanaskan dengan oven pada suhu 80°C selama 2 jam. Sampel ditimbang dan menghasilkan massa setelah pemanasan (M_n).

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada lampiran 2, jumlah M_0 diseragamkan yaitu 0,5 gram. Komposit ODE/PS dengan komposisi volume toluena 10 mL menghasilkan M_n 0,41 gram, sehingga menghasilkan Lr 18 %. Selanjutnya komposit ODE/PS dengan toluena 20 mL menghasilkan M_n 0,46 gram setelah pemanasan, maka dihasilkan Lr sebesar 8 %. Kemudian komposit ODE/PS dengan toluena 30 mL menghasilkan M_n 0,43 gram setelah pemanasan dan diperoleh Lr sebesar 14 %. Komposit ODE/PS dengan toluena 40 mL menghasilkan M_n 0,5 gram setelah pemanasan, maka dihasilkan Lr sebesar 0 %. Terakhir, komposit ODE/PS dengan toluena 50 mL menghasilkan M_n 0,47 gram setelah pemanasan, maka dihasilkan Lr sebesar 6 %.

Analisis tersebut menunjukkan tingkat kebocoran dari komposit ODE/PS dengan volume pelarut toluena 10, 20, 30, 40, 50 mL masing-masing yaitu 18, 8, 14, 0, 6 %. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa volume optimum toluena sebesar 40 mL, karena komposit ODE/PS yang dihasilkan memiliki Lr terendah dengan persentase kebocoran 0%. Semakin besar volume pelarut maka tingkat kebocorannya akan semakin kecil, karena dengan bertambahnya volume pelarut maka semakin stabil emulsi ODE/PS saat reaksi. Lr komposit ODE/PS dengan volume

toluena 50 mL kembali meningkat menjadi 6 %. Hal tersebut disebabkan karena adanya sisa pelarut toluena yang belum menguap sempurna saat sintesis ODE/PS.

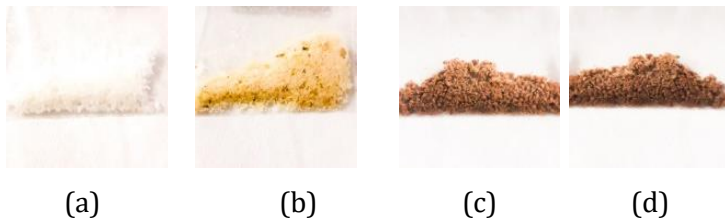
Lr disebabkan oleh perubahan massa ODE pada komposit ODE/PS yang terjadi karena adanya deformasi cangkang mikrokapsul akibat pemanasan. Penjelasan tersebut dapat diartikan bahwa semakin besar massa komposit ODE/PS yang berkurang, maka semakin banyak ODE dalam mikrokapsul yang terlepas dari komposit tersebut dan semakin besar pula tingkat kebocoran cangkang mikrokapsul kompositnya.

C. Preparasi Komposit ODE/PS/FeCl₃

Komposit ODE/PS/FeCl₃ disiapkan dengan melelehkan 10 gram ODE pada suhu 80°C dalam labu alas bulat 100 mL. Kemudian ditambahkan larutan limbah PS dengan pengadukan. Larutan limbah PS dibuat dengan melarutkan 1,5 gram polistirena menggunakan pelarut toluena dengan volume optimum pada prosedur sebelumnya yaitu 40 mL. Setelah ODE dan larutan limbah PS homogen, kemudian ditambah 3,2 mL FDA dan FeCl₃ anhidrat dengan variasi 0,5; 1; 1,5 gram secara berurutan dan diaduk pada suhu 120°C selama 8 jam. FDA ditambahkan untuk direaksikan dengan kerangka polistirena dengan bantuan FeCl₃ membentuk perantara

berupa gugus Fe-O dan C-Cl yang kemudian direaksikan dengan unit polistirena lainnya.

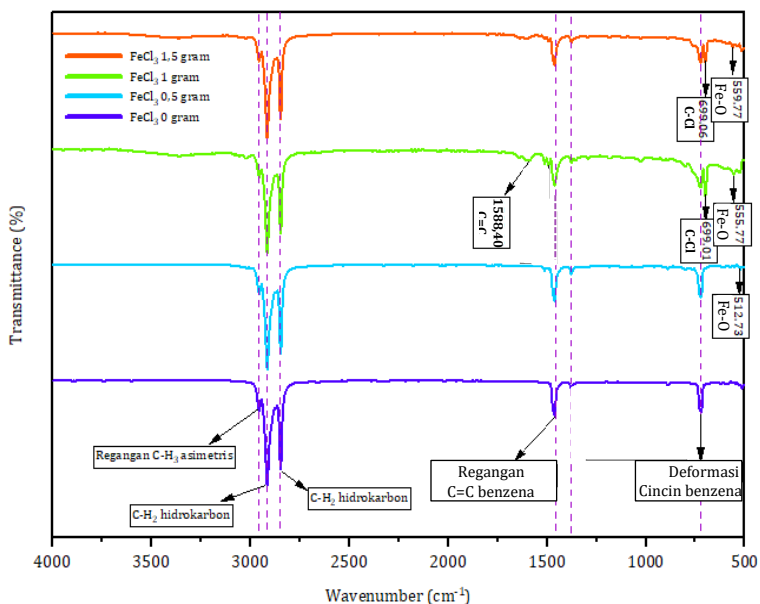
Komposit ODE/PS/FeCl₃ berupa padatan coklat gelap dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa FDA dan dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 12 jam dan menghasilkan material komposit ODE/PS/FeCl₃ seperti pada gambar 4.2. Komposit ODE/PS tanpa FeCl₃ berbentuk padatan putih, komposit ODE/PS/FeCl₃ 0,5 gram berbentuk padatan berwarna krem dan material komposit ODE/PS/FeCl₃ yang diperoleh dari FeCl₃ 1 dan 1,5 gram berbentuk padatan coklat. Perbedaan warna tersebut dipengaruhi oleh banyak sedikitnya FeCl₃ yang berikatan dalam komposit tersebut.



Gambar 4.2 (a) Komposit ODE/PS, (b) Komposit ODE/PS/FeCl₃ 0,5 gram, (c) Komposit ODE/PS/FeCl₃ 1 gram, (d) Komposit ODE/PS/FeCl₃ 1,5 gram

D. Analisis FTIR

FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan jenis ikatan pada komposit ODE/PS tanpa penambahan FeCl_3 dan komposit ODE/PS/ FeCl_3 dengan penambahan 0,5; 1 dan 1,5 gram FeCl_3 . Spektra FTIR komposit ODE/PS/ FeCl_3 dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Spektra FTIR komposit ODE/PS dari bawah ke atas dengan penambahan FeCl_3 0 gram, FeCl_3 0,5 gram, FeCl_3 1 gram, FeCl_3 1,5 gram

Tabel 4.1 Interpretasi spektra FTIR komposit ODE/PS

Interpretasi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	FeCl ₃ 0	FeCl ₃ 0,5	FeCl ₃ 1	FeCl ₃ 1,5
Vibrasi regangan -CH ₃ asimetris	2956,39	2956,30	2956,04	2956,33
Vibrasi regangan -CH ₂ asimetris	2915,84	2915,54	2915,73	2915,96
Vibrasi regangan -CH ₂ simetris	2847,77	2847,55	2847,67	2847,93
Vibrasi regangan C=C cincin	1631,57	1631,57	1588,40	
Benzene	1462,94	1462,72	1461,81	1462,74
Vibrasi deformasi -CH ₃	1377,46	1377,55	1377,42	1377,50
Vibrasi deformasi cincin benzena	721,60	721,87	721,78	722,04
C-Cl	-	-	699,01	699,06
Vibrasi oksida logam Fe-O	-	512,73	555,77	559,77
				514,95

Tabel 4.1 menunjukkan respon utama ODE pada material komposit ODE/PS, dimana puncaknya muncul sekitar pita serapan 2956 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi regangan -CH₃ asimetris, kemudian 2916 cm⁻¹ dan 2849 cm⁻¹ masing-masing berasal dari peregangan asimetris dan simetris vibrasi gugus metilen -CH₂. Puncak serapan pada bilangan gelombang 1460 cm⁻¹ sampai 1631 cm⁻¹ merupakan vibrasi regangan C=C cincin benzena (Zhang

et al., 2018), pada bilangan gelombang 1377 cm^{-1} berasal dari vibrasi deformasi $-\text{CH}_3$ (Liu *et al.*, 2020), puncak serapan 721 cm^{-1} untuk vibrasi deformasi cincin benzena. (Zhang et al., 2018).

Komposit ODE/PS tanpa penambahan FeCl_3 memiliki gugus fungsi $-\text{CH}_3$ asimetris ($2956,39\text{ cm}^{-1}$), deformasi $-\text{CH}_3$ ($1377,46\text{ cm}^{-1}$), $-\text{CH}_2$ simetris ($2847,77\text{ cm}^{-1}$) dan asimetris ($2915,84\text{ cm}^{-1}$), vibrasi regangan $\text{C}=\text{C}$ cincin benzena ($1631,57\text{ cm}^{-1}$ dan $1462,94\text{ cm}^{-1}$) dan deformasi cincin benzena ($1377,46\text{ cm}^{-1}$). Komposit ODE/PS dengan penambahan FeCl_3 0,5 gram memiliki gugus fungsi $-\text{CH}_3$ asimetris ($2956,30\text{ cm}^{-1}$), deformasi $-\text{CH}_3$ ($1377,55\text{ cm}^{-1}$), regangan $-\text{CH}_2$ simetris ($2847,55\text{ cm}^{-1}$) dan asimetris ($2915,54\text{ cm}^{-1}$), vibrasi regangan $\text{C}=\text{C}$ cincin benzena ($1631,57\text{ cm}^{-1}$ dan $1462,72\text{ cm}^{-1}$), deformasi cincin benzena ($1377,46\text{ cm}^{-1}$) dan vibrasi *metal-oxygen* $\text{Fe}-\text{O}$ (512 cm^{-1}) yang berasal dari penambahan 0,5 gram FeCl_3 (Liu *et al.*, 2020). Komposit ODE/PS/ FeCl_3 1 gram memiliki gugus fungsi $-\text{CH}_3$ asimetris ($2956,04\text{ cm}^{-1}$), deformasi $-\text{CH}_3$ ($1377,42\text{ cm}^{-1}$), regangan $-\text{CH}_2$ simetris ($2847,67\text{ cm}^{-1}$) dan asimetris ($2915,73\text{ cm}^{-1}$), vibrasi regangan $\text{C}=\text{C}$ cincin benzena ($1588,40\text{ cm}^{-1}$ dan $1461,81\text{ cm}^{-1}$), deformasi cincin benzena ($1377,42\text{ cm}^{-1}$), vibrasi *metal-oxygen* $\text{Fe}-\text{O}$ ($555,77\text{ cm}^{-1}$) yang berasal dari

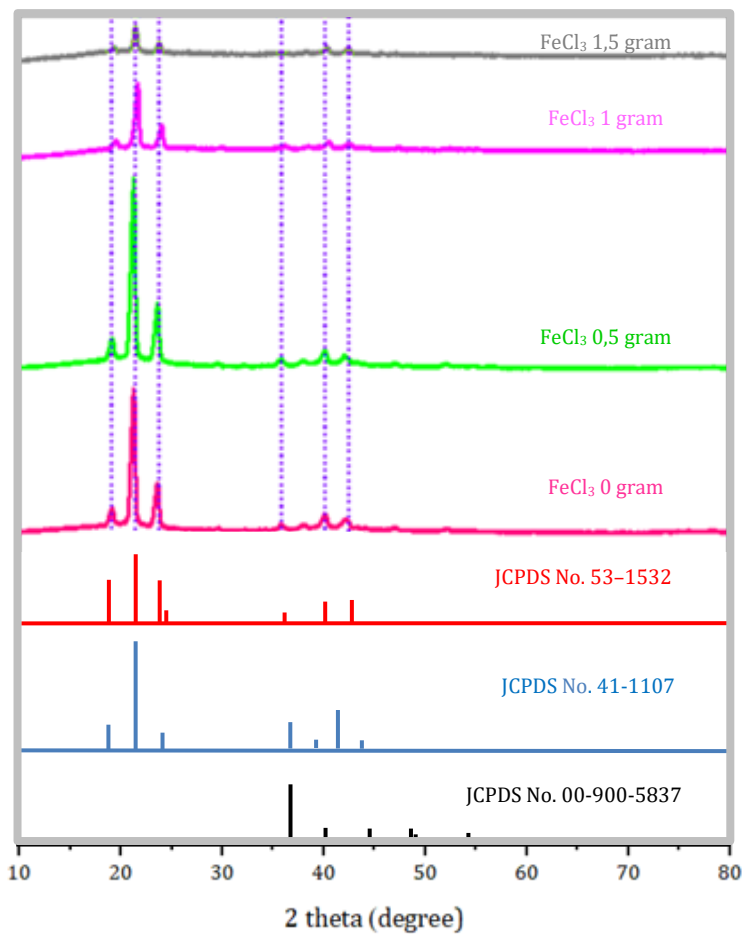
penambahan 1 gram FeCl_3 (Liu *et al.*, 2020) dan gugus C-Cl ($699,01 \text{ cm}^{-1}$) (Abdelrazek, 2007). Komposit ODE/PS/ FeCl_3 1,5 gram memiliki gugus fungsi $-\text{CH}_3$ asimetris ($2956,33 \text{ cm}^{-1}$), deformasi $-\text{CH}_3$ ($1377,50 \text{ cm}^{-1}$), regangan $-\text{CH}_2$ simetris ($2847,93 \text{ cm}^{-1}$) dan asimetris ($2915,96 \text{ cm}^{-1}$), vibrasi regangan C=C cincin benzena ($1462,74 \text{ cm}^{-1}$), deformasi cincin benzena ($1377,50 \text{ cm}^{-1}$), vibrasi *metal-oxygen* Fe-O ($559,77 \text{ cm}^{-1}$ dan $514,95 \text{ cm}^{-1}$) karena penambahan 1,5 gram FeCl_3 (Liu *et al.*, 2020) dan gugus C-Cl ($699,06 \text{ cm}^{-1}$) (Abdelrazek, 2007).

Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan, komposit yang menunjukkan perbedaan yaitu ODE/PS tanpa penambahan FeCl_3 karena tidak terdapat gugus C-Cl dan gugus Fe-O serta komposit ODE/PS dengan penambahan 0,5 gram FeCl_3 juga tidak menunjukkan adanya gugus C-Cl. Puncak vibrasi gugus Fe-O pada penambahan 1 gram FeCl_3 memiliki intensitas yang lebih besar dibandingkan dengan FeCl_3 1,5 gram. Perbedaan intensitas ini terjadi karena pada variasi FeCl_3 1 gram mempunyai kemungkinan Fe^{3+} yang lebih banyak bereaksi dengan O^{2-} yang mengakibatkan banyak terbentuknya gugus Fe-O. Sedangkan pada konsentrasi FeCl_3 1,5 gram mengakibatkan berlimpahnya Fe^{3+} yang tidak berikatan karena kurangnya konsentrasi reagen

yang menyediakan pasangan elektron untuk berikatan dengan Fe^{3+} .

E. Analisis XRD

Fase kristaloid PCM dieksplorasi oleh XRD dengan mode pemindaian dengan kecepatan $4\text{-}80^\circ(2\theta)/\text{menit}$ dan kondisi operasi tetap 40 kV dan 15 mA dengan membandingkan data difraktogram yang diperoleh dengan database standar JCPDS No. 53-1532 untuk ODE, JCPDS No. 41-1107 PS dan JCPDS No. 00-900-5837 untuk FeCl_3 . Hasil analisis XRD ditunjukkan oleh gambar 4.4. Gambar 4.4 menunjukkan adanya perbedaan intensitas difraksi pada penambahan variasi konsentrasi FeCl_3 0; 0,5; 1; 1,5 gram. Gambar 4.4 menunjukkan pola XRD sesuai dengan bidang ODE sesuai dengan JCPDS No. 53-1532 karena terdapat puncak pada 2θ 19° , 21° dan 22° yang menunjukkan bahwa beberapa ODE dimasukkan ke dalam pori-pori PS (Li *et al.*, 2022).



Gambar 4.4 Difaktogram XRD komposit ODE/PS dengan FeCl₃ 0 gram, ODE/PS dengan FeCl₃ 0,5 gram, ODE/PS dengan FeCl₃ 1 gram, ODE/PS dengan FeCl₃ 1,5 gram

Analisis XRD juga menunjukkan bahwa tidak ada perubahan dalam struktur kristal ODE setelah dicampur dengan PS, dan penambahan FeCl_3 tidak berpengaruh pada struktur kristal komposit ODE/PS (Zhang *et al.*, 2018). Intensitas puncak difraksi meningkat pada komposit dengan penambahan 0,5 gram FeCl_3 . Komposit dengan penambahan FeCl_3 1 dan 1,5 gram menunjukkan penurunan intensitas pola difraksi ODE dan terdapat pelebaran puncak pada 2θ sekitar 20° yang menunjukkan adanya PS sesuai JCPDS No. 41-1107 (Ohtaka *et al.*, 2011). Komposit dengan penambahan FeCl_3 , terdapat puncak 2θ sekitar 36° sesuai JCPDS No. 00-900-5837 yang menandakan adanya Fe_3O_4 (Li *et al.*, 2021). Intensitasnya semakin meningkat dengan bertambahnya komposisi FeCl_3 (Saranya *et al.*, 2017). Dapat diasumsikan bahwa komposit dengan penambahan 1 gram FeCl_3 merupakan komposit yang cukup baik dibandingkan dengan penambahan 0,5 dan 1,5 gram FeCl_3 karena pada penambahan 0,5 gram FeCl_3 , pola difraksi PS tidak terbaca. Sedangkan pada komposit dengan penambahan 1,5 gram FeCl_3 terdeteksi pola difraksi PS dengan intensitas rendah.

Penambahan 0,5 gram FeCl_3 meningkatkan kristalinitas komposit ODE/PS/ FeCl_3 tetapi semakin

bertambahnya komposisi FeCl_3 , kristalinitas komposit ODE/PS/ FeCl_3 semakin menurun dengan hasil perhitungan derajat kristalinitas pada penambahan FeCl_3 0; 0,5; 1; 1,5 gram secara berurutan yaitu 64,66872; 72,09665; 42,37894; 24,49078 %.

Rata-rata ukuran komposit ODE/PS/ FeCl_3 juga dianalisis menggunakan hasil uji XRD. Ukuran kristal dihitung dari difraktogram XRD menggunakan persamaan Debye-Scherrer. Komposit ODE/PS tanpa penambahan FeCl_3 memiliki ukuran kristal rata-rata 12,6001 nm. Komposit ODE/PS dengan penambahan 0,5 gram FeCl_3 rata-rata ukuran kristalnya 14,3374 nm. Rata-rata ukuran kristal komposit ODE/PS dengan penambahan 1 gram FeCl_3 yaitu 9,268612 nm dan komposit ODE/PS dengan penambahan 1,5 gram FeCl_3 rata-rata ukuran kristalnya 5,794734 nm. Ukuran kristal tersebut merupakan hasil analisis dari perkalian K (0,90) dengan λ (0,15406 nm) dibagi radians FWHM sebagai β dikali \cos radian θ yang berasal dari data puncak 2θ .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Komposit ODE/PS mempunyai karakteristik gugus ODE karena terdapat gugus $-CH_3$, $-CH_2$ dengan $C=C$. Komposit ODE/PS/ $FeCl_3$ terdapat gugus $-CH_2$, $-CH_3$, $C=C$, $C-Cl$ dan $Fe-O$. Komposit ODE/PS/ $FeCl_3$ menunjukkan adanya pola difraksi ODE (2θ 19° , 21° , 22°), PS (2θ 20°) dan Fe_3O_4 (2θ 36°). Kristalinitas dan rata-rata ODE/PS/ $FeCl_3$ $0,5 < 1 < 1,5$ ($64,66872 < 72,09665 > 42,37894 > 24,49078$ % dan $12,6001 < 14,3374 > 9,268612 > 5,794734$ nm).
2. Tingkat kebocoran komposit ODE/PS yang dihasilkan dari volume pelarut toluena 10, 20, 30, 40, 50 mL masing-masing yaitu 18, 8, 14, 0, 6 %. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa volume optimum toluena sebesar 40 mL karena komposit yang dihasilkan memiliki L_r terendah dengan tingkat kebocoran 0%.

B. Saran

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui sifat termal dan panas laten komposit ODE/PS/ $FeCl_3$ yang

dapat dilakukan dengan TG-DTA-DSC. Selain itu untuk mengetahui komposisi, morfologi dan luas permukaan mikrokapsul komposit perlu dilakukan analisis menggunakan SEM-EDX dan TEM.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrazek, E. M. 2007. Influence of FeCl₃ Filler on the Structure and Physical Properties of Polyethyl-Methacrylate Films. *Physica*, 400(1-2), 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2007.06.013>
- Al-Hamed, K. H. M., & Dincer, I. 2020. Development of a Solar Farm Powered Quadric System with Thermal Energy Storage Option. *Energy Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112981>
- Alfonsi, K., Colberg, J., Dunn, P. J., Fevig, T., Jennings, S., Johnson, T. A., Kleine, H. P., Knight, C., Nagy, M. A., Perry, D. A., & Stefaniak, MarkStefaniak, M. 2008. Green Chemistry Tools to Influence a Medicinal Chemistry and Research Chemistry Based Organisation. *Green Chemistry*, 10, 31-36. <https://doi.org/10.1039/b711171e>
- Apmann, K., Fulmer, R., Soto, A., & Vafaei, S. 2021. Thermal Conductivity and Viscosity: Review and Optimization of Effects of Nanoparticles. *Materials*, 14(1291), 1-75.
- Baglioni, M., Poggi, G., Ciolli, G., Fratini, E., Giorgi, R., & Baglioni, P. 2018. A Triton X-100-Based Microemulsion for the Removal of Hydrophobic Materials from Works of Art: SAXS Characterization and Application. *Materials*, 11, 7-10. <https://doi.org/10.3390/ma11071144>
- Bindu, P., & Thomas, S. 2014. Estimation of Lattice Strain in ZnO Nanoparticles: X-ray Peak Profile Analysis. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 8, 123-134. <https://doi.org/10.1007/s40094-014-0141-9>
- Cai, T., Zhou, Y., Wang, E., Hellstorm, S., Zhang, F., Xu, S., Ingnas, O., & Anderson, M. R. 2010. Materials & Solar Cells Low Bandgap Polymers Synthesized by FeCl₃

- Oxidative Polymerization. *Solar Energy Materials and Solar Cell*, 94, 1275–1281.
<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.03.024>
- Costle, D. M., Schatzow, S., Schaffer, R. B., Hall, E. P., & Williams, J. G. 1980. *Development Document for Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Metal Molding and Casting Point Source Category*. EPA.
- Donbebe, W., & Dikio, E. D. 2014. Comparative Study of Polystyrene and Polymethylmethacrylate Waste as Adsorbents for Sorption of Pb²⁺ from Aqueous Solution. *Asian Journal of Chemistry*, 26(December 2016), 8295–8302.
- Dragostin, I., Dragostin, O., Pelin, A. M., Grigore, C., & Lăcrămioara Zamfir, C. 2017. The importance of polymers for encapsulation process and for enhanced cellular functions. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 54(7), 489–493.
<https://doi.org/10.1080/10601325.2017.1320754>
- Evi, T., Budianto, E. 2012. *Studi Poimerisasi Antarmuka Terhadap Distribusi Ukuran Partikel Mikrokapsul Poliuretan Berbasis Gliserol*. Universitas Indonesia.
- Faden, M., Hohlein, S., Wanner, J., Haagen, A. K., & Bruggemann, D. 2019. Review of Thermophysical Property Data of Octadecane for Phase-Change Studies. *Materials*, 12(2974), 1–23.
<https://doi.org/10.3390/ma12182974>
- Helmyati, S., Yuliati, E., Pamungkas, N. P., & Hendarta, N. Y. 2018. *Fortifikasi Pangan Berbasis Sumberdaya Nusantara: Upaya Mengatasi Masalah Defisiensi Zat Gizi Mikro di Indonesia* (Ruslan (ed.); 1 ed.). UGM Press.
- Huan, S., Bai, L., Liu, G., Cheng, W., & Han, G. 2015. Electrospun Nanofibrous Composites of Polystyrene and Cellulose

Nanocrystals: Manufacture and Characterization. *RSC Advances*, 5(63), 50756–50766.
<https://doi.org/10.1039/c5ra06117b>

Jamekhorshid, A., Sadrameli, S. M., & Farid, M. 2014. A Review of Microencapsulation Methods of Phase Change Materials (PCMs) as a Thermal Energy Storage (TES) Medium. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 531–542. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.033>

Jiang, Z., Yang, W., He, F., Xie, C., Fan, J., Wu, J., & Zhang, K. 2018. Modified Phase Change Microcapsules With Calcium Carbonate and Graphene Oxide Shell for Enhanced Energy Storage and Leakage Prevention Modified Phase Change Microcapsules with Calcium Carbonate and Graphene Oxide Shell for Enhanced Energy Storage and Leak. *Sustainable Chemistry Engineering*.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b04834>

Jouhara, H., Żabnieńska-Góra, A., Khordehgah, N., Ahmad, D., & Lipinski, T. 2020. Latent Thermal Energy Storage Technologies and Applications: A Review. *International Journal of Thermofluids*, 5–6.
<https://doi.org/10.1016/j.ijft.2020.100039>

Kalidasan, B., Pandey, A. K., Shahabuddin, S., Samykano, M., Thirugnanasambandam, M., & Saidur, R. 2019. Phase Change Materials Integrated Solar Thermal Energy Systems: Global Trends and Current Practices in Experimental Approaches. *Journal of Energy Storage*, 27(November 2019), 101118.
<https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101118>

Kementrian Agama RI. 2015. *Al-Qur'an Tajwid & Terjemahan* (8 ed.). CV Penerbit Diponegoro.

Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., &

- Asiri, A. M. 2018. Fourier transform infrared spectroscopy: Fundamentals and application in functional groups and nanomaterials characterization. *Handbook of Materials Characterization*, 317–344. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2_9
- Li, C., Ni, L., Chen, Q., & Jiang, J. 2022. Temperature Control of Exothermic Reactions Using n-Octadecane@MF Resin microPCMs Based on Esterification Reactions. *Processes*, 10(239), 1–21.
- Li, Y., Wang, Z., & Liu, R. 2021. Superparamagnetic α -Fe₂O₃/Fe₃O₄ Heterogeneous Nanoparticles with Enhanced Biocompatibility. *Nanomaterials*, 11(834), 1–14.
- Linford, M. R. 2014. *A Discussion of Aspects of a Paper by Caporali, Bardi, and Lavacchi on LEIS and XPS. Vacuum Technology & Coating.*
- Liu, C., Ma, X., Du, P., & Rao, Z. 2020. Fabrication of highly efficient thermal energy storage composite from waste polystyrenes. *Chemical Engineering Science*, 115477. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115477>
- Manikandan, R., Shabir, M. F., Raja, T., Chandra, P. M., Salman, S., & Vasim Akram, I. 2020. Effect of Various Phase Change Materials (Paraffin Wax/Hydrogenated Vegetable Oil) Packed in a Fabricated Shell and Tube Type Heat Exchanger. *Materials Today: Proceedings*, xxx, 6. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.231>
- Mekuto, L., Olowolafe, A. V. A., Pandit, S., Dyantyu, N., Nomngongo, P., & Huberts, R. 2019. Microalgae As a Biocathode and Feedstock in Anode Chamber for a Self-Sustainable Microbial Fuel Cell Technology: A Review. *South African Journal of Chemical Engineering*, 31(July 2019), 7–16.

<https://doi.org/10.1016/j.sajce.2019.10.002>

- Mostafa, M., Kandile, N. G., Mahmoud, M. K., & Ibrahim, H. M. 2022. Synthesis and Characterization of Polystyrene with Embedded Silver Nanoparticle Nano Fibers to Utilize As Antibacterial and Wound Healing Biomaterial. *Heliyon*, 8(October 2021), e08772. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08772>
- Naikwadi, A. T., Samui, A. B., & Mahanwar, P. A. 2020. Melamine-Formaldehyde Microencapsulated n-Tetracosane Phase Change Material for Solar Thermal Energy Storage in Coating. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 215(May), 110676. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110676>
- Nguon, O., Lagugn -Labarthe, F., Brandys, F. A., Li, J., & Gillies, E. R. 2018. Microencapsulation by in situ Polymerization of Amino Resins. *Polymer Reviews*, 58(2), 326-375. <https://doi.org/10.1080/15583724.2017.1364765>
- Nyburg, S. C., & Luth, H. 1972. n-Octadecane : A Correction and Refinement of the Structure Given by Hayashida. *cta Cryst*, B28, 2992-2995. <https://doi.org/10.1107/S0567740872007332>
- Ohtaka, A., Yamaguchi, T., Teratani, T., Shimomura, O., & Nomura, R. 2011. Linear Polystyrene-Stabilized PdO Nanoparticle-Catalyzed Mizunuma-Heck Reactions in Water. *Molecules*, 16, 9067-9076. <https://doi.org/10.3390/molecules16119067>
- Rao, Z. H., & Zhang, G. Q. 2011. Thermal Properties of Paraffin Wax-based Composites Containing Graphite. *Energy Sources*, 33(Recovery, Utilization, and Environmental Effects), 587 - 593. <https://doi.org/10.1080/15567030903117679>
- Saranya, S., Vijayarani, K., & Pavithra, S. 2017. Green Synthesis

of Iron Nanoparticles Using Aqueous Extract of *Musa Ornata* Flower Sheath Against Pathogenic Bacteria. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 79(October 2016), 688–694.

- Sari, N. K. 2010. *Analisa Instrumentasi*. Yayasan Humaniora.
- Sarker, M., Rashid, M. M., Molla, M., & Rahman, S. 2011. Waste Polystyrene (PS-6) Plastic Conversion into Liquid Hydrocarbon Fuel by Using HZSM-5 Catalyst with Thermal Degradation Process. *International Review of Chemical Engineering*, 3(5), 6–7.
- Sheng, X., Wang, B., Mao, C., & Zhou, Y. 2020. Influence of FeCl₃-Modified Chloroaluminate Ionic Liquids on Long-Chain Alkanes Alkylation. *Applied Organometallic Chemistry*, 35(Apl. Organomet. Chem.), 1. <https://doi.org/10.1002/aoc.6055>
- Siswanto, D., Mujiyanto, S., Suharyati, Pambudi, S. H., Wibowo, J. L., & Pratiwi, N. I. 2019. *Outlook Energi Indonesia 2019* (S. Abdurrahman, M. Pertiwi, & Walujanto (ed.)). Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional.
- Srinivasaraonaik, B., Singh, L. P., Tyagi, I., Rawat, A., & Sinha, S. 2020. Microencapsulation of a Eutectic PCM Using in situ Polymerization Technique for Thermal Energy Storage. *Energy Research*, September 2019, 1–11. <https://doi.org/10.1002/er.5182>
- Su, W., Darkwa, J., & Kokogiannakis, G. 2015. Review of solid-liquid phase change materials and their encapsulation technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 373–391. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.044>
- Su, W., Darkwa, J., & Kokogiannakis, G. 2018. Nanosilicon Dioxide Hydrosol as Surfactant for Preparation of Microencapsulated Phase Change Materials for Thermal

- Energy Storage in Buildings. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 13(August), 301–310. <https://doi.org/10.1093/ijlct/cty032>
- Sun, X., Haas, D., & Lockhart, C. 2017. Iron (III) Chloride (FeCl₃)-Catalyzed Electrophilic Aromatic Substitution of Chlorobenzene with Thionyl Chloride (SOCl₂) and the Accompanying Auto-Redox in Sulfur to Give Diaryl Sulfides (Ar₂S): Comparison to Catalysis by Aluminum Chloride. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon*, 192(3), 376–380. <https://doi.org/10.1080/10426507.2016.1244206>
- Tjahjanti, P. H. 2018. *Buku Ajar Teori dan Aplikasi Material Komposit dan Polimer* (S. B. Sartika, M. T. Multazam, & F. Megawati (ed.); 1 ed.). Umsida Press.
- Urbanek, A. K., Rybak, J., Wrobel, M., Leluk, K., & Mironczuk, A. M. 2020. A Comprehensive Assessment of Microbiome Diversity in *Tenebrio Molitor* Fed with Polystyrene Waste. *Environmental Pollution*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114281>
- Ushak, S., Judith Cruz, M., Cabeza, L. F., & Grágeda, M. 2016. Preparation and Characterization of Inorganic PCM Microcapsules by Fluidized Bed Method. *Materials*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/ma9010024>
- Vogel, Arthur I., Jeffery, G. H., Basset, J., Mendham, J., Denney, R. C. 1989. *Vogel's textbook of quantitative chemical analysis*. (Fifth Edit). Longman Scientific & Technical.
- Wankasi, D., & Dixon, E. D. 2014. Comparative Study of Polystyrene and Polymethylmethacrylate Waste as Adsorbents for Sorption of Pb²⁺ from Aqueous Solution. *Asian Journal of Chemistry*, 26(Applied Chemistry and Nano-Science).
- Yoon, J. W., Park, Y., Kim, J., & Park, C. H. 2017. Multi-jet Electrospinning of Polystyrene/Polyamide 6 Blend:

Thermal and Mechanical Properties. *Fashion and Textiles*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40691-017-0090-4>

Yousif, E., & Haddad, R. 2013. Photodegradation and Photostabilization of Polymers, Especially Polystyrene: Review. *Springerplus*, 2(1), 1–32. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-398>

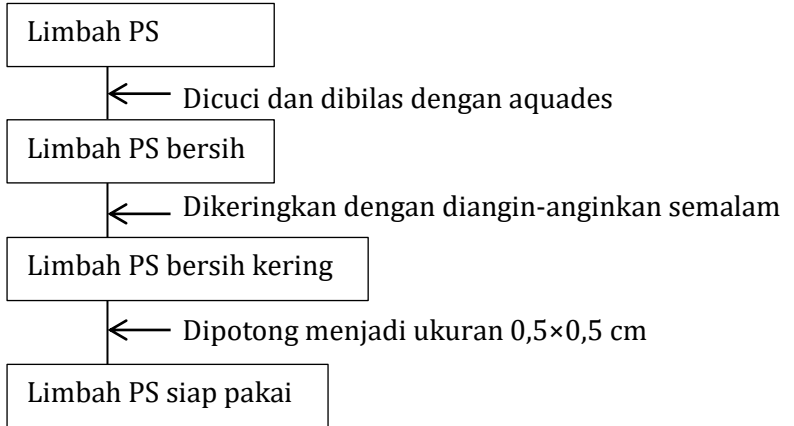
Zhang, L., Yang, W., Jiang, Z., He, F., Zhang, K., Fan, J., & Wu, J. 2017. Graphene Oxide-Modified Microencapsulated Phase Change Materials With High Encapsulation Capacity and Enhanced Leakage-Prevention Performance. *Applied Energy*, 197, 354–363. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.04.041>

Zhang, Z., Alva, G., Gu, M., & Fang, G. 2018. Experimental Investigation on n-Octadecane/Polystyrene/Expanded Graphite Composites as Form-Stable Thermal Energy Storage Materials. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.006>

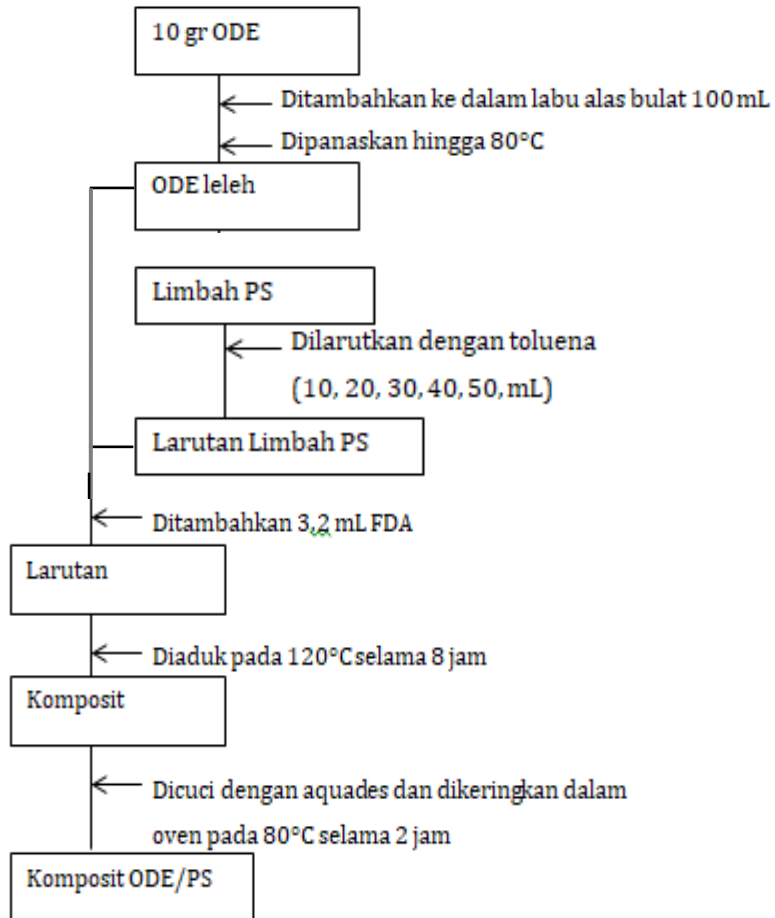
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Langkah Kerja Penelitian

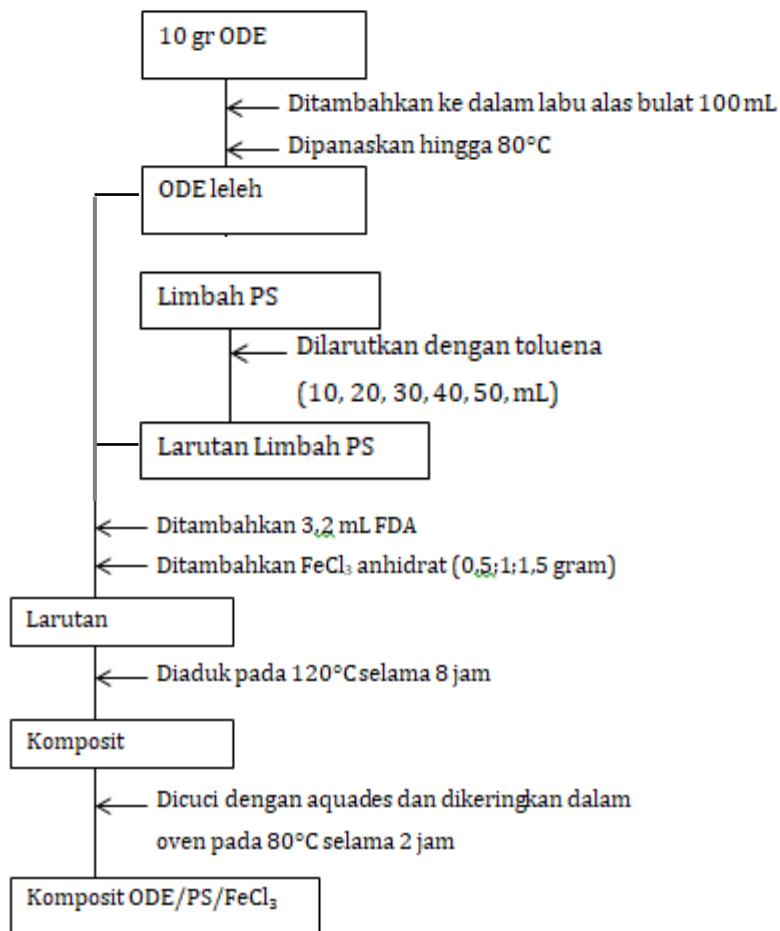
1. Preparasi limbah polistirena



2. Preparasi mikroenkapsulasi komposit limbah polistirena (ODE/PS)



3. Preparasi mikroenkapsulasi komposit limbah polistirena dengan *filler* FeCl_3



Lampiran 2 Analisis Tingkat kebocoran

1. Toluena 10 mL

$$M_o = 0,5 \text{ gram}$$

$$M_n = 0,41 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Lr (\%)} &= \frac{M_o - M_n}{M_o} \times 100\% \\ &= \frac{0,5 - 0,41}{0,5} \times 100\% \\ &= \frac{0,09}{0,5} \times 100\% \\ &= 18\% \end{aligned}$$

2. Toluena 20 mL

$$M_o = 0,5 \text{ gram}$$

$$M_n = 0,46 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Lr (\%)} &= \frac{M_o - M_n}{M_o} \times 100\% \\ &= \frac{0,5 - 0,46}{0,5} \times 100\% \\ &= \frac{0,04}{0,5} \times 100\% \\ &= 8\% \end{aligned}$$

3. Toluena 30 mL

$$M_o = 0,5 \text{ gram}$$

$$M_n = 0,43 \text{ gram}$$

$$\text{Lr (\%)} = \frac{M_o - M_n}{M_o} \times 100\%$$

$$= \frac{0,5-0,43}{0,5} \times 100\%$$

$$= \frac{0,07}{0,5} \times 100\%$$

$$= 14\%$$

4. Toluena 40 mL

$$M_o = 0,5 \text{ gram}$$

$$M_n = 0,5 \text{ gram}$$

$$Lr (\%) = \frac{M_o - M_n}{M_o} \times 100\%$$

$$= \frac{0,5-0,5}{0,5} \times 100\%$$

$$= \frac{0}{0,5} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

5. Toluena 50 mL

$$M_o = 0,5 \text{ gram}$$

$$M_n = 0,47 \text{ gram}$$

$$Lr (\%) = \frac{M_o - M_n}{M_o} \times 100\%$$

$$= \frac{0,5-0,47}{0,5} \times 100\%$$

$$= \frac{0,03}{0,5} \times 100\%$$

$$= 6\%$$

Lampiran 3 Analisis % Kristalinitas

$$\% \text{ Kristalinitas} = \frac{\text{Luas Fraksi Kristalin}}{\text{Luas Fraksi Kristalin} + \text{Luas Fraksi Amorf}}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Kristalinitas ODE/PS} &= \frac{14234,95}{22012,11} \\ &= 64,66872 \% \end{aligned}$$

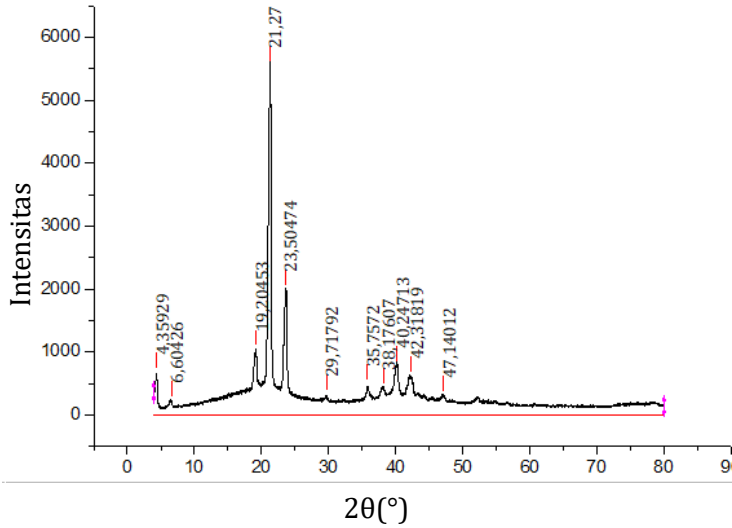
$$\begin{aligned} \% \text{ Kristalinitas ODE/PS/FeCl}_3 \text{ 0,5 gram} &= \frac{16665,35}{23115,29} \\ &= 72,09665 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Kristalinitas ODE/PS/FeCl}_3 \text{ 1 gram} &= \frac{12731,08}{30041,06} \\ &= 42,37894 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Kristalinitas ODE/PS/FeCl}_3 \text{ 1,5 gram} &= \frac{7734}{31581,68} \\ &= 24,49078 \end{aligned}$$

Lampiran 4 Analisis Rata-Rata Ukuran Komposit

FeCl₃ 0 gram



2θ	θ	Radians θ	FWHM	Radians FWHM
4,29526	2,14763	0,037483215	0,39672	0,00692
6,48647	3,24324	0,056605129	0	0,00515
19,73901	9,86951	0,172255358	4,90719	0,085647
21,23675	10,6184	0,185325605	0,45882	0,00801
23,58448	11,7922	0,205813414	0,48963	0,00855
35,85693	17,9285	0,312910744	0,62431	0,0109
38,05345	19,0267	0,332078997	0,72725	0,01269
40,10756	20,0538	0,350004488	0,65999	0,01152
42,15672	21,0784	0,367886783	0,78351	0,01367
53,13439	26,5672	0,463685026	4,98281	0,08697

1. $K = 0,90$
 $\lambda = 0,15406 \text{ nm}$
 $\beta = \text{FWHM} = 0,39672^\circ = 0,00692 \text{ rad}$
 $\theta = 2,14763^\circ = 0,037483215 \text{ rad}$
 $D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$
 $= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,00692 \cos 0,037483215}$
 $= 20,0109 \text{ nm}$
2. $K = 0,90$
 $\lambda = 0,15406 \text{ nm}$
 $\beta = \text{FWHM} = 0^\circ = 0,0052 \text{ rad}$
 $\theta = 3,2432^\circ = 0,056605129 \text{ rad}$
 $D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$
 $= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,056605129 \cos 0,0052}$
 $= 26,867 \text{ nm}$
3. $K = 0,90$
 $\lambda = 0,15406 \text{ nm}$
 $\beta = \text{FWHM} = 4,90719^\circ = 0,08565 \text{ rad}$
 $\theta = 9,8695^\circ = 0,172255358 \text{ rad}$
 $D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,08565 \cos 0,172255358}$$

$$= 20,0109 \text{ nm}$$

4. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,45882^\circ = 0,008 \text{ rad}$$

$$\theta = 10,618^\circ = 0,185325605 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,008 \cos 0,185325605}$$

$$= 17,018 \text{ nm}$$

5. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,48963^\circ = 0,0085 \text{ rad}$$

$$\theta = 11,792^\circ = 0,205813414 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,0085 \cos 0,205813414}$$

$$= 0,42818 \text{ nm}$$

6. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,6243^\circ = 0,0109 \text{ rad}$$

$$\theta = 17,928^\circ = 0,312910744 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,0109 \cos 0,312910744}$$

$$= 12,107 \text{ nm}$$

7. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,7273^\circ = 0,0127 \text{ rad}$$

$$\theta = 19,027^\circ = 0,332078997 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,0127 \cos 0,332078997}$$

$$= 10,327 \text{ nm}$$

8. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,66^\circ = 0,0115 \text{ rad}$$

$$\theta = 20,054^\circ = 0,350004488 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,0127 \cos 0,350004488}$$

$$= 11,307 \text{ nm}$$

9. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,7835^\circ = 0,0137 \text{ rad}$$

$$\theta = 21,078^\circ = 0,367886783 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,0137 \cos 0,367886783}$$

$$= 9,4609 \text{ nm}$$

$$10. K = 0,90$$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 4,9828^\circ = 0,087 \text{ rad}$$

$$\theta = 26,567^\circ = 0,463685026 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

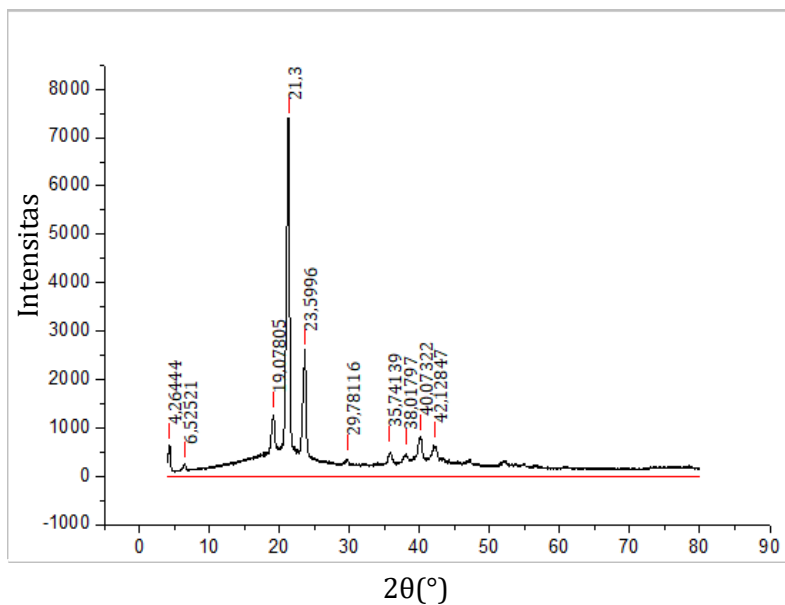
$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,087 \cos 0,463685026}$$

$$= 1,426 \text{ nm}$$

$$D_x = \frac{20,0109 + 26,8666 + 1,59495 + 17,0181 + 15,8827 + 12,107 + 10,327 + 11,307 + 9,4609 + 1,426}{10}$$

$$= 12,6001 \text{ nm}$$

FeCl₃ 0,5 gram



2θ	θ	Radians θ	FWHM	Radians FWHM
4,28387	2,141935	0,037384	0,34268	0,005981
20,29251	10,14626	0,177086	7,83326	0,136716
21,22645	10,61323	0,185236	0,47625	0,008312
23,57851	11,78926	0,205761	0,49124	0,008574
35,80193	17,90097	0,312431	0,47203	0,008238
38,01418	19,00709	0,331736	0,48149	0,008404
40,08541	20,04271	0,349811	0,60404	0,010542
41,00177	20,50089	0,357808	15,44276	0,269527

1. $K = 0,90$
 $\lambda = 0,15406 \text{ nm}$
 $\beta = \text{FWHM} = 0,34268^\circ = 0,005981 \text{ rad}$
 $\theta = 2,141935^\circ = 0,037384 \text{ rad}$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,005981 \cos 0,037384}$$

$$= 23,16662 \text{ nm}$$
2. $K = 0,90$
 $\lambda = 0,15406 \text{ nm}$
 $\beta = \text{FWHM} = 7,83326^\circ = 0,136716 \text{ rad}$
 $\theta = 10,141935^\circ = 0,177086 \text{ rad}$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,136716 \cos 0,177086}$$

$$= 0,998314 \text{ nm}$$
3. $K = 0,90$
 $\lambda = 0,15406 \text{ nm}$
 $\beta = \text{FWHM} = 0,47625^\circ = 0,008312 \text{ rad}$
 $\theta = 10,61323^\circ = 0,185236 \text{ rad}$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,008312 \cos 0,185236}$$

$$= 16,39556 \text{ nm}$$

4. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,49124^\circ = 0,008312 \text{ rad}$$

$$\theta = 11,78926^\circ = 0,205761 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,008312 \cos 0,205761}$$

$$= 15,83078 \text{ nm}$$

5. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,47203^\circ = 0,008238 \text{ rad}$$

$$\theta = 17,90097^\circ = 0,312431 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,008238 \cos 0,312431}$$

$$= 16,0153 \text{ nm}$$

6. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,48149^\circ = 0,008404 \text{ rad}$$

$$\theta = 19,00709^\circ = 0,331736 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \\
 &= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,008404 \cos 0,331736} \\
 &= 15,59981 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

$$7. K = 0,90$$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

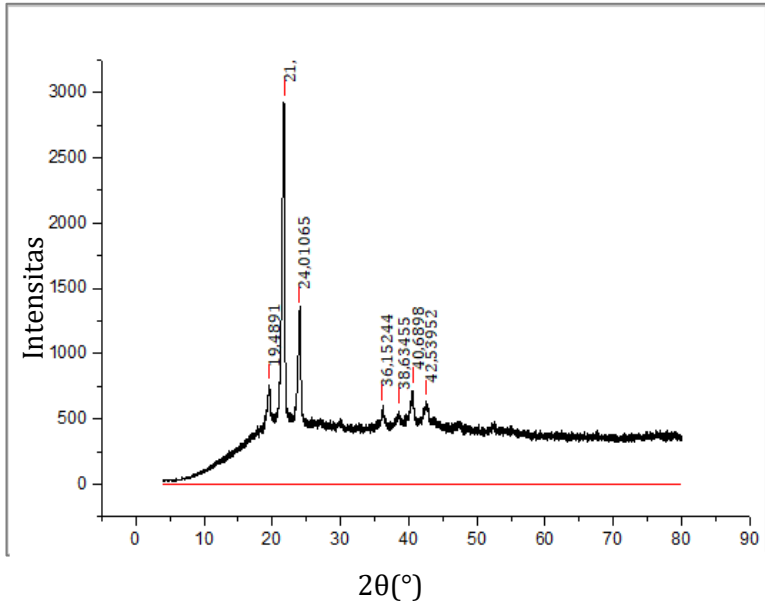
$$\beta = \text{FWHM} = 0,60404^\circ = 0,010542 \text{ rad}$$

$$\theta = 20,04271^\circ = 0,349811 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \\
 &= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,010542 \cos 0,349811} \\
 &= 12,35541 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_x &= \frac{23,16662 + 0,998314 + 16,39556 + 15,83078 + 16,0153 + 15,59981 + 12,35541}{7} \\
 &= 12,60546 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

FeCl₃ 1 gram



2θ	θ	Radians θ	FWHM	Radians FWHM
19,50159	9,750795	0,170183	0,43061	0,007516
21,62172	10,81086	0,188685	0,44403	0,00775
22,04753	11,02377	0,192401	12,09773	0,211145
38,9979	19,49895	0,340321	11,11582	0,194008
41,3069	20,65345	0,360471	28,87047	0,503885
42,40699	21,2035	0,370071	93,81783	1,63743

1. $K = 0,90$

$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$

$\beta = \text{FWHM} = 0,43061^\circ = 0,007516 \text{ rad}$

$$\theta = 9,750795^\circ = 0,170183 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,007516 \cos 0,170183}$$

$$= 18,1824 \text{ nm}$$

2. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,44403^\circ = 0,00775 \text{ rad}$$

$$\theta = 10,81086^\circ = 0,188685 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,00775 \cos 0,188685}$$

$$= 17,57379 \text{ nm}$$

3. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 12,09773^\circ = 0,211145 \text{ rad}$$

$$\theta = 11,02377^\circ = 0,192401 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,211145 \cos 0,192401}$$

$$= 0,644559 \text{ nm}$$

$$4. K = 0,90$$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 11,11582^\circ = 0,194008 \text{ rad}$$

$$\theta = 19,49895^\circ = 0,340321 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

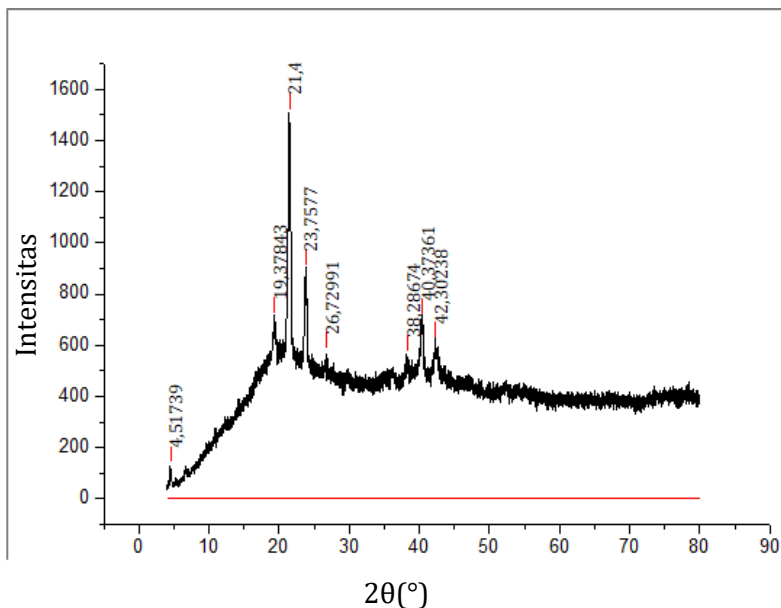
$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,194008 \cos 0,340321}$$

$$= 0,673694 \text{ nm}$$

$$D_x = \frac{18,18240056 + 17,57379348 + 0,644558991 + 0,673694342}{4}$$

$$= 9,268612 \text{ nm}$$

FeCl₃ 1,5 gram



2θ	θ	Radians θ	FWHM	Radians FWHM
4,7135	2,35675	0,041133	12,07918	0,210821462
18,66211	9,331055	0,162858	3,95747	0,069070882
21,46073	10,73037	0,18728	0,41206	0,007191804
22,76224	11,38112	0,198638	7,5618	0,131978307
39,21533	19,60767	0,342218	4,42331	0,077201323
39,22423	19,61212	0,342296	20,69068	0,36112049
42,41913	21,20957	0,370177	0,70762	0,012350299

1. $K = 0,90$

$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$

$\beta = \text{FWHM} = 12,07918^\circ = 0,210821 \text{ rad}$

$\theta = 0,041133^\circ = 2,35675 \text{ rad}$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,210821 \cos 2,35675}$$

$$= 0,657128 \text{ nm}$$

2. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 3,95747^\circ = 0,069071 \text{ rad}$$

$$\theta = 9,331055^\circ = 0,162858 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,069071 \cos 0,162858}$$

$$= 1,980854 \text{ nm}$$

3. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,41206^\circ = 0,007192 \text{ rad}$$

$$\theta = 10,73037^\circ = 0,18728 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,007192 \cos 0,18728}$$

$$= 18,94233 \text{ nm}$$

4. $K = 0,90$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 7,5618^\circ = 0,131978 \text{ rad}$$

$$\theta = 11,38112^\circ = 0,198638 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,131978 \cos 0,198638}$$

$$= 1,029923 \text{ nm}$$

$$5. K = 0,90$$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 4,42331^\circ = 0,077201 \text{ rad}$$

$$\theta = 19,60767^\circ = 0,342218 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,077201 \cos 0,342218}$$

$$= 1,69186 \text{ nm}$$

$$6. K = 0,90$$

$$\lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

$$\beta = \text{FWHM} = 0,70762^\circ = 0,01235 \text{ rad}$$

$$\theta = 21,20957^\circ = 0,370177 \text{ rad}$$

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$= \frac{0,90 \cdot 0,15406}{0,01235 \cos 0,370177}$$

$$= 10,46631 \text{ nm}$$

$$\begin{aligned} D_x^- &= \frac{0,657128+1,980854+18,94233+1,029923+ \\ &\quad 1,69186+10,4663}{6} \\ &= 5,794734 \text{ nm} \end{aligned}$$

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

Nama : Ita Mastika

Tempat, Tgl Lahir : Batang, 10 Mei 1997

Alamat Rumah : Banyuputih, RT 03 RW 01 Desa
Banyuputih, Kecamatan Banyuputih,
Kabupaten Batang

Email : itamastika2@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

- | | |
|------------------------------|------------|
| 1. TK Among Putra Banyuputih | Lulus 2003 |
| 2. SD Negeri 01 Banyuputih | Lulus 2009 |
| 3. SMP Negeri 1 Limpung | Lulus 2012 |
| 4. SMA Negeri 1 Subah | Lulus 2015 |