

**PENGARUH PELARUT TERHADAP BERAT MOLEKUL
POLY(ACRYLIC ACID-CO-ITACONIC ACID) SEBAGAI PEREKAT
SEMEN TULANG**

SKRIPSI

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



Oleh: NADAA HANIYYAH ARIS MUNANDAR

NIM: 2008036013

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

2024

**PENGARUH PELARUT TERHADAP BERAT MOLEKUL
POLY(ACRYLIC ACID-CO-ITACONIC ACID) SEBAGAI PEREKAT
SEMEN TULANG**

SKRIPSI

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



Oleh: NADAA HANIYYAH ARIS MUNANDAR

NIM: 2008036013

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2024**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nadaa Haniyyah Aris Munandar

NIM : 2008036013

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**PENGARUH PELARUT TERHADAP BERAT MOLEKUL
POLY(ACRYLIC ACID-CO-ITACONIC ACID) SEBAGAI PEREKAT
SEMEN TULANG**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk dari sumbernya.

Semarang, 27 Maret 2024
Pembuat Pernyataan,



Nadaa Haniyyah Aris Munandar
NIM. 2008036013

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Pengaruh Pelarut Terhadap Berat Molekul
Poly(acrylic acid-co-itaconic acid) Sebagai
Perekat Semen Tulang**

Penulis : Nadaa Haniyyah Aris Munandar

NIM : 2008036013

Jurusan : Kimia

Telah diajukan dalam sidang munaqosyah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam ilmu kimia.

Semarang, 4 April 2024

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang



Ana Mardiyah, M.Si.

NIP. 198905252019032019

Sekretaris Sidang



Mulyatun, M.Si.

NIP. 198305042011012008

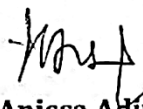
Penguji I



Wirda Udaibah, M.Si.

NIP. 198501042009122003

Penguji II



Dr. Eng. Anissa Adiwena Putri, M.Sc.

NIP. 198504052011012015

Pembimbing I



Ana Mardiyah, M.Si.

NIP. 198905252019032019

Pembimbing II



Winda Rianti, S.T., M.Sc.

NIP. 19850622009012003

NOTA DINAS

Semarang, 27 Maret 2024

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo

di Semarang

Assalamualaikum wr.wb.

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

Judul : **Pengaruh Pelarut Terhadap Berat Molekul *Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* Sebagai Perekat Semen Tulang**

Nama : **Nadaa Haniyyah Aris Munandar**

NIM : 2008036013

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing I

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'A' followed by a circle containing two vertical lines.

Ana Mardiyah, M.Si.

NIP. 198905252019032019

NOTA DINAS

Tangerang, 26 Maret 2024

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo

di Semarang

Assalamualaikum wr.wb.

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

Judul : **Pengaruh Pelarut Terhadap Berat Molekul Poly(acrylic acid-co-itaconic acid) Sebagai Perekat Semen Tulang**

Nama : **Nadaa Haniyyah Aris Munandar**

NIM : 2008036013

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum wr.wb.

Pembimbing II



Winda Rianti, S.T., M.Sc.

NIP. 19850622009012003



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR, silakan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

ABSTRAK

Polimer memiliki peran penting sebagai perekat pada semen tulang. *Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* adalah salah satu jenis polimer yang banyak dikembangkan sebagai perekat semen tulang. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pelarut dalam proses kopolimerisasi terhadap panjang rantai *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*. Metode sintesis yang digunakan yaitu metode polimerisasi larutan. Preparasi penelitian diawali dengan menguji coba kelarutan monomer dan inisiator dalam masing-masing pelarut. Polimer hasil sintesis diuji dengan *Fourier Transform InfraRed* (FTIR), *Hydrogen Nuclear Magnetic Resonance* ($^1\text{H-NMR}$), dan *Gel Permeation Chromatography* (GPC). Hasil analisis FTIR menunjukkan penurunan intensitas serapan C=C pada hasil sintesis. Hasil spektra $^1\text{H-NMR}$ menunjukkan terdapat puncak pada geseran kimia 1-3 ppm milik proton CH sp^3 dan 5-6 ppm milik proton CH sp^2 . Variasi pelarut menghasilkan data perbedaan berat molekul polimer yang diuji dengan GPC. Hasil sintesis dengan pelarut air, aseton, dan isopropanol masing-masing menghasilkan berat molekul sebesar 32.687 g/mol, 21.024 g/mol, dan 25.560 g/mol serta nilai polidispersitas masing-masing 3,58, 8,26, dan 7,44.

Kata Kunci: Asam Akrilat, Asam Itakonat, Berat Molekul, Kopolimer, *Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah swt. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat selesai dikerjakan. Sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat dan para pengikutnya. Penyusunan skripsi dengan judul “Pengaruh Pelarut Terhadap Berat Molekul *Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* Sebagai Perekat Semen Tulang” dimaksudkan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari berbagai pihak yang telah memberikan nasihat, bimbingan, arahan, serta dukungan dan do’a. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Nizar Ali, M.Ag., Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag., Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Mulyatun, M.Si. Ketua Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
4. Ana Mardiyah, M.Si., Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, motivasi, serta bantuan kepada penulis dengan penuh pengertian dan

selalu mendengarkan cerita penulis tentang kendala baik dalam proses sintesis maupun penyusunan skripsi.

5. Winda Rianti, S.T., M.Sc., Pembimbing Lapangan selama pelaksanaan riset tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, dan dukungan kepada penulis selama melaksanakan riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional maupun saat penyusunan skripsi.
6. Dyah Fitasari, M.Pd., dosen wali tercinta yang memberikan semangat, motivasi, menjadi ibu kedua penulis selama di kampus, dan mendukung penulis sehingga mampu untuk berproses selama menjalani kuliah, riset tugas akhir, serta penyusunan skripsi.
7. Segenap Dosen, Pegawai dan Civitas Akademika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan pemahaman.
8. Dr. Nendar Herdiyanto dan segenap Perekayasa Kelompok Riset Biokeramik Pusat Riset Material Maju Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk belajar banyak hal selama proses riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.
9. Kedua Orang Tua, Bapak (Bapak Aris Munandar) dan Mamah (Ibu Mustifaningsih), Adek (Fawwaz Abdillah Aris Munandar) serta seluruh keluarga besar yang selalu

memberikan doa, dukungan, semangat, kasih sayang, dan menjadi teman bercerita penulis sehingga dapat menyelesaikan studi dengan baik, lancar, dan tetap waras sampai akhir.

10. Bu Mulyatun dan Bu Anissa Adiwena Putri yang telah memberi dukungan dan motivasi serta banyak penulis repotkan untuk bertanya, belajar, dan mengurus banyak hal.
11. Ayu, Seri, Cipa, dan Nisa yang telah menjadi tempat berbagi cerita, saling mendukung dalam perkuliahan, yang menemani penulis masak-masak, teman galau, selalu menemani dan mendukung penulis sampai akhir studi sarjana ini.
12. Ika, Inul, Ninik, Bintari, Tasya, dan Defikha sebagai keluarga Mariadi yang selalu menjadi teman palugada sehingga mengurangi rasa stres dalam mengerjakan skripsi.
13. Mba Rosita, Vana, Lina, Tingkah, Lintang, Nabila, Manda, Nirmala, Bila, Novita, Rahma, dan Zeinin yang telah memberi banyak perhatian dan menjadi keluarga di tanah rantau.
14. Teman-Teman Kimia 2020 khususnya Kim-A, Warga UKM Ristek khususnya pengurus periode 2023, KKN MMK 2023 Posko 3 Kampung Malon, KP Biokeramik BRIN periode Januari-Februari 2023 yang telah berdinamika bersama dan turut membentuk pribadi penulis.

15. Teman-Teman Asisten Laboratorium Kimia khususnya Bu Anita dan Mas Muchis yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk banyak belajar selama menjadi asisten laboratorium.
16. Baim, Mecca, Oxy, Abe, Emmett, Charlie, Harry, dan Nadine yang telah memberi dukungan mental kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
17. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah memberikan semangat demi terselesaikannya tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran agar penulis dapat memperbaiki skripsi ini. Semoga naskah skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Semarang, 27 Maret 2024
Penulis

Nadaa Haniyyah Aris Munandar
NIM. 2008036013

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
NOTA DINAS	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat Penelitian	7
BAB II LANDASAN PUSTAKA	8
A. Kajian Teori	8
1. Asam Akrilat	8
2. Asam Itakonat	10
3. Kalium Peroksidisulfat	11
4. <i>Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)</i>	12
5. Berat Molekul Polimer	13
6. Pelarut dalam Sintesis Polimer	14
B. Metode-Metode Sintesis Polimer	15
1. Polimerisasi Homogen	16
2. Polimerisasi Heterogen	18
C. Reaksi Polimerisasi Mekanisme Radikal Bebas	19
1. Inisiasi	19
2. Propagasi	21
3. Terminasi	22
D. Karakterisasi Polimer	23
1. <i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR)	23
2. <i>Nuclear Magnetic Ressonance</i> (NMR)	26
3. <i>Gel Permeation Chromatography</i> (GPC)	29

E.	Kajian Riset yang Relevan	30
F.	Hipotesis Penelitian.....	33
BAB III METODE PENELITIAN		35
A.	Waktu dan Tempat Penelitian.....	35
B.	Alat dan Bahan.....	35
1.	Alat.....	35
2.	Bahan.....	35
C.	Prosedur Kerja.....	36
1.	Uji Kelarutan Monomer dan Inisiator dalam Pelarut.....	36
2.	Sintesis <i>Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)</i>	37
D.	Karakterisasi Polimer	37
1.	<i>Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR)	37
2.	<i>Nuclear Magnetic Ressonance</i> (NMR)	38
3.	<i>Gel Permeation Chromatography</i> (GPC).....	38
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		39
A.	Kelarutan Monomer dan Inisator dalam Pelarut	39
B.	Sintesis Kopolimer	43
C.	Karakterisasi Polimer	50
1.	FTIR (<i>Fourier Transform InfraRed</i>)	50
2.	NMR (<i>Nuclear Magnetic Ressonance</i>)	53
3.	GPC (<i>Gel Permeation Chromatography</i>).....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		60
A.	Kesimpulan	60
B.	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA		62
LAMPIRAN.....		71
RIWAYAT HIDUP		84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data referensi bilangan gelombang pada hasil pengujian FTIR (Pavia <i>et al.</i> , 2009)	25
Tabel 4.1 Hasil uji kelarutan bahan dalam pelarut	41
Tabel 4.2 Interpretasi data spektra FTIR.....	53
Tabel 4.3 Data berat molekul polimer hasil sintesis	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Asam Akrilat (Y. Huang <i>et al.</i> , 2002a).....	8
Gambar 2.2 Struktur <i>Poly(acrylic acid)</i> (Arkaban <i>et al.</i> , 2022) ..	9
Gambar 2.3 Struktur Asam Itakonat (Y. Huang <i>et al.</i> , 2002a) ..	10
Gambar 2.4 Struktur kalium peroksidisulfat (Sigma-Aldrich, 2024)	11
Gambar 2.5 Struktur <i>Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)</i> (Cummings <i>et al.</i> , 2016a)	12
Gambar 2.6 Mekanisme Reaksi Polimerisasi Tahap Inisiasi (Kabir, 2017)	21
Gambar 2.7 Mekanisme Reaksi Polimerisasi Tahap Propagasi (Ebewele, 2000; Kabir, 2017)	22
Gambar 2.8 Mekanisme Reaksi Tahap Terminasi dengan Cara Kombinasi (Kabir, 2017)	23
Gambar 2.9 Mekanisme Reaksi Tahap Terminasi dengan Cara Disproporsionasi (Kabir, 2017)	23
Gambar 2.10 Prinsip Kerja Instrumen FTIR (Pavia <i>et al.</i> , 2009)	24
Gambar 2.11 Prinsip Kerja Instrumen ¹ H-NMR (Dachriyanus, 2004)	27
Gambar 2.12 Nilai Geseran Kimia Untuk Proton Pada Instrumen ¹ H-NMR (Pavia <i>et al.</i> , 2009)	28
Gambar 2.13 Prinsip Kerja Instrumen GPC (Agilent, 2015)	30
Gambar 4.1 Hasil uji kelarutan monomer asam itakonat dalam masing-masing pelarut	41
Gambar 4.2 Hasil uji kelarutan monomer asam akrilat dalam masing-masing pelarut	42
Gambar 4.3 Hasil uji kelarutan inisiator kalium peroksidisulfat dalam masing-masing pelarut	42
Gambar 4.4 Mekanisme Reaksi Tahap Inisiasi Disosiasi	44
Gambar 4.5 Mekanisme Reaksi Tahap Inisiasi Asosiasi	44

Gambar 4.6 Mekanisme Reaksi Tahap Propagasi Asam Akrilat dengan Asam Itakonat	45
Gambar 4.7 Mekanisme Reaksi Tahap Propagasi Asam Itakonat dengan Asam Akrilat.....	45
Gambar 4.8 Mekanisme reaksi tahap terminasi kombinasi untuk asam akrilat dengan asam akrilat	46
Gambar 4.9 Mekanisme reaksi tahap terminasi kombinasi untuk asam itakonat dengan asam itakonat.....	46
Gambar 4.10 Mekanisme reaksi tahap terminasi kombinasi untuk asam akrilat dengan asam itakonat.....	46
Gambar 4.11 Mekanisme reaksi tahap terminasi disproporsionasi untuk ikatan rangkap di asam akrilat.....	47
Gambar 4.12 Mekanisme reaksi tahap terminasi disproporsionasi untuk ikatan rangkap di asam itakonat.....	48
Gambar 4.13 Potensi letak monomer berdampingan dalam rantai <i>poly(acrylic acid-co-itaconic acid)</i>	49
Gambar 4.14 Potensi asam itakonat sebagai gugus ujung.....	49
Gambar 4.15 Potensi asam akrilat sebagai gugus ujung.....	49
Gambar 4.16 Spektrum FTIR asam akrilat dan asam itakonat	50
Gambar 4.17 Spektrum FTIR <i>poly(acrylic acid-co-itaconic acid)</i>	51
Gambar 4.18 Identifikasi proton pada rantai <i>poly(acrylic acid-co-itaconic acid)</i>	54
Gambar 4.19 Mekanisme Reaksi Tahap Propagasi Asam Itakonat dengan Asam Itakonat	57
Gambar 4.20 Mekanisme Reaksi Tahap Terminasi Disproporsionasi Ikatan Rangkap Pada Asam Akrilat Posisi Cα	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Alur Penelitian.....	71
Lampiran 2 Diagram Alir Uji Kelarutan Sampel Padat	72
Lampiran 3 Diagram Alir Uji Kelarutan Sampel Cair	73
Lampiran 4 Diagram Alir Sintesis <i>Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)</i>	74
Lampiran 5 Dokumentasi Sintesis <i>Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)</i> Hasil Sintesis.....	75
Lampiran 6 Spektrum $^1\text{H-NMR}$ Hasil Sintesis dengan Pelarut Air	76
Lampiran 7 Spektrum $^1\text{H-NMR}$ Hasil Sintesis dengan Pelarut Aseton.....	77
Lampiran 8 Spektrum $^1\text{H-NMR}$ Hasil Sintesis dengan Pelarut Isopropanol	78
Lampiran 9 Spektrum FTIR Asam Itakonat dan Asam Akrilat.....	79
Lampiran 10 Spektrum FTIR <i>Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)</i> Hasil Sintesis.....	80
Lampiran 11 Kromatogram Hasil Uji GPC	81
Lampiran 12 Perhitungan Nilai Geseran Kimia.....	82
Lampiran 13 Perhitungan Nilai J Kopling.....	83

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Gigi sebagai komponen dalam sistem pencernaan manusia, memiliki struktur keras yang terdapat di dalam rongga mulut dan merupakan bagian dari sistem muskuloskeletal (Pramestiyani *et al.*, 2022). Gigi berperan dalam proses pencernaan mekanis makanan. Peran gigi yang begitu krusial dalam sistem pencernaan menyebabkan gigi rentan mengalami kerusakan (Daud & Said, 2022). Gigi yang telah mengalami kerusakan berat dapat mengakibatkan trauma gigi.

Trauma gigi merupakan kondisi yang memerlukan penanganan segera karena dapat menyebabkan berbagai komplikasi jika tidak ditangani dengan baik. Beberapa dampak yang mungkin terjadi akibat trauma gigi yang tidak ditangani, antara lain peningkatan jaringan mati, pergeseran letak gigi, inflamasi, infeksi, dan perubahan bentuk rahang gigi (Jones, 2020; Riyanti, 2008). Oleh karena itu, penanganan trauma gigi menjadi krusial dalam dunia kedokteran gigi.

Beberapa metode penanganan trauma gigi yang telah dikenal dalam literatur medis mencakup penggunaan

penambalan berbahan logam, granul nanofiber, dan semen tulang (Bakhtiari *et al.*, 2021; Bingol *et al.*, 2023; Ordinola-Zapata & Fok, 2021). Semen tulang merupakan campuran antara bahan padat dan polimer sebagai perekat. Bahan padat dapat berupa ionomer kaca, sumber kalsium fosfat, hidroksiapatit, atau bahan lain (Cummings *et al.*, 2016a; Malik *et al.*, 2020). Semen tulang harus memiliki sifat adhesif. Sifat adhesif semen tulang sangat penting, karena diharapkan semen tulang dapat melekat pada tulang dan secara alami terdegradasi untuk mendukung pertumbuhan tulang baru (Bingol *et al.*, 2023; Panagiotopoulou *et al.*, 2022).

Semen tulang, khususnya dalam bentuk pasta yang mudah disuntik, dikembangkan sebagai salah satu material untuk restorasi gigi. Keunggulannya meliputi biokompatibilitas yang baik, imunogenisitas rendah, mudah digunakan, dan tidak merusak fungsi jaringan yang dilekatinya (Bakhtiari *et al.*, 2021; Zaokari *et al.*, 2020). Kelebihan lainnya adalah tidak memerlukan operasi pencabutan material seperti pada penggunaan implan logam, sehingga dapat mengurangi risiko infeksi dan komplikasi (Bingol *et al.*, 2023).

Semen tulang terdiri dari dua komponen penyusun, yaitu bahan padat dan polimer sebagai perekat. Bahan padat dapat berupa ionomer kaca, hidroksiapatit, atau bahan lain

sebagai sumber kalsium fosfat (Cummings *et al.*, 2016a; Malik *et al.*, 2020). Polimer yang ideal untuk perekat dalam semen tulang memiliki kemampuan terdegradasi secara alami dan dapat berikatan dengan substrat biologis tubuh (Farrar, 2012; Guarino *et al.*, 2014). Pengembangan polimer sintetis semakin pesat karena dapat menggabungkan beberapa sifat yang menguntungkan untuk meningkatkan kualitas semen tulang. Polimer sintetis yang paling sering digunakan pada aplikasi semen tulang saat ini adalah *polymethyl methacrylate* (PMMA). Namun terdapat kekurangan dari polimer ini, di antaranya sulit terdegradasi secara alami, monomernya bersifat toksik, serta dapat mengalami peningkatan suhu selama pengerasan dan penyusutan. Studi lain menunjukkan bahwa PMMA memiliki kemampuan adhesi yang sedang, kandungan sisa monomer yang tinggi, penetrasi struktur tulang yang buruk, sulit terdegradasi secara alami, dan sifat antibakteri yang buruk (Bakhtiari *et al.*, 2021; Przesławski *et al.*, 2022). Dengan demikian perlu dilakukan modifikasi polimer jenis lain untuk diaplikasikan sebagai perekat semen tulang. Contoh bentuk modifikasi polimer adalah *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*.

Poly(acrylic acid-co-itaconic acid) merupakan bentuk kopolimer antara asam akrilat dan asam itakonat yang memenuhi kriteria sebagai perekat semen tulang. Kopolimer

ini memiliki beberapa kelebihan, termasuk sifat adhesi yang baik, kemampuan terdegradasi secara alami, daya lekat yang efektif pada substrat biologis, tidak bersifat toksik, tidak mengalami penyusutan ekstrem, dan dapat mengurangi pendarahan pascabedah (Ito *et al.*, 2022; Kashyap *et al.*, 2022a; Rodríguez-Ramos *et al.*, 2021).

Perekat dalam bentuk kopolimer juga mungkin untuk memodifikasi kuat tekan suatu material. Hal ini berkaitan dengan panjang rantai polimer yang dihasilkan. Semakin panjang rantai polimer yang dihasilkan maka kuat tekan suatu material yang direkatkan akan meningkat. Proses kopolimerisasi yang membentuk panjang rantai polimer dapat dipengaruhi oleh pelarut, *Chain Transfer Agent* (CTA) dan inisiator (Abbasi *et al.*, 2020; Ballard *et al.*, 2015; Beuermann, 2009; Çetinkaya *et al.*, 2017; Furuncuoğlu *et al.*, 2010; Prasher *et al.*, 2019).

Penggunaan pelarut memiliki peran yang signifikan dalam karakterisasi dan modifikasi sifat polimer. Pengaruh variasi pelarut dapat memengaruhi struktur molekuler, morfologi, serta sifat fisik dan kimia dari polimer. Variasi pelarut mampu memengaruhi distribusi berat molekul dari polimer (Beuermann, 2009). Kepolaran pelarut akan berdampak pada kelarutan monomer. Kelarutan monomer

memengaruhi kemampuan monomer untuk bereaksi dengan inisiator dan membentuk sebuah rantai polimer.

Penelitian mengenai sintesis kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* telah dilakukan oleh Huang (2002), Cummings (2016), Kashyap (2022), dan Balilvand (2022). Huang (2002) telah melakukan sintesis *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* dengan metode polimerisasi pada suhu tinggi yang dipantau dengan *Fourier Transform InfraRed (FTIR) portable* dan reaktor untuk campuran metanol-CO₂. Penelitian yang dilakukan Huang (2002) menggunakan metode sintesis yang cukup sulit karena menggunakan reaktor dalam tekanan tinggi dan pemantauan dengan FTIR *portable* sehingga tidak memungkinkan untuk diterapkan di laboratorium sederhana. Cummings (2016) telah melakukan sintesis *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* menggunakan reaktor RC1e yang dialiri gas nitrogen. Penelitian Cummings (2016) ini menggunakan reaktor RC1e yang belum tersedia unitnya di Indonesia, sehingga tidak memungkinkan untuk diterapkan di Indonesia. Kashyap (2022) dan Balilvand (2022) juga mensintesis *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* dengan metode disinari γ (gamma) dan *photo-polimerization*. Penelitian oleh Kashyap (2022) dan Balilvand (2022) juga menggunakan instrumentasi dengan teknologi canggih yang masih terbatas penerapannya di Indonesia, sehingga akan

sulit diterapkan di laboratorium biasa karena perlu keamanan tinggi dalam penggunaan instrumentasinya. Beuermann (2009) telah melakukan penelitian yang mempelajari pengaruh pelarut pada kinetika propagasi dalam polimerisasi radikal. Penelitian Beuermann (2009) ini menggunakan berbagai jenis pelarut (air, pelarut organik, golongan alkohol, pelarut ionik, dan CO₂ superkritis), studi ini dilakukan pada berbagai jenis polimer. Hasilnya adalah pelarut memengaruhi laju propagasi dalam polimerisasi radikal. Penelitian mengenai sintesis *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* dengan variasi pelarut belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pelarut dalam proses kopolimerisasi terhadap panjang rantai *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana profil spektra FTIR dan NMR hasil sintesis kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*?
2. Bagaimana pengaruh pelarut terhadap berat molekul kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui profil spektra FTIR dan NMR hasil sintesis kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*.
2. Mengetahui pengaruh pelarut terhadap berat molekul kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memberi informasi mengenai profil spektra FTIR dan NMR pada hasil sintesis kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*.
2. Pengetahuan mengenai pengaruh pelarut terhadap berat molekul kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* sehingga dapat diaplikasikan sebagai perekat semen tulang.

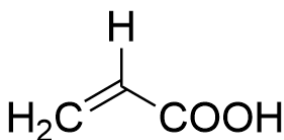
BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

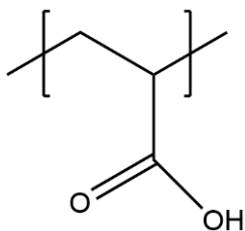
1. Asam Akrilat

Asam akrilat merupakan monomer yang memiliki kelarutan tinggi dalam air. Asam akrilat banyak direaksikan dengan monomer asam alkanuat lainnya untuk mencegah terbentuknya gel yang tidak diinginkan dalam sebuah rantai kopolimer (Abbasi *et al.*, 2020). Asam akrilat mengandung gugus karboksilat seperti terlihat pada Gambar 2.1 yang merupakan salah satu gugus fungsi yang paling potensial sebagai monomer. Hal ini dikarenakan gugus -COOH dapat memiliki aplikasi biomedis yang penting. Kelompok gugus ini dikenal memiliki sifat adhesi yang baik (Bitar *et al.*, 2018a).



Gambar 2.1 Struktur Asam Akrilat (Y. Huang *et al.*, 2002a)

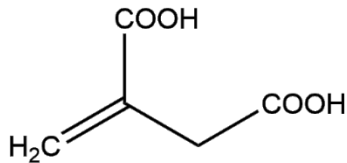
Bentuk polimer dari asam akrilat, yaitu *poly(acrylic acid)* (PAA) dengan struktur seperti pada Gambar 2.2 telah banyak diteliti manfaatnya. PAA merupakan polianion hidrofilik yang memiliki potensi baik untuk digunakan sebagai titik reaktif ikatan kovalen. Penggunaan permukaan anionik untuk aplikasi biomedis dinilai lebih menguntungkan daripada permukaan kationik karena sifatnya yang kurang sitotoksik. PAA aktif digunakan dalam penyembuhan luka dengan mekanisme kerjanya menargetkan transport senyawa aktif secara biologis karena sifat mukoadhesif dan kemampuan kompleksasinya (Bitar *et al.*, 2018b). Selain bersifat bioadhesif, PAA juga dapat terdegradasi secara alami sehingga cocok digunakan sebagai kandidat polimer dalam semen gigi (Cummings *et al.*, 2016a).



Gambar 2.2 Struktur *Poly(acrylic acid)* (Arkaban *et al.*, 2022)

2. Asam Itakonat

Asam Itakonat (IA) pertama kali disintesis oleh Baup pada tahun 1836 melalui distilasi dekarboksilasi asam sitrat. Saat itu hasil sintesis IA digunakan sebagai pengganti minyak bumi karena memiliki potensi besar untuk menurunkan ketergantungan masyarakat pada minyak untuk produksi plastik (Trotta *et al.*, 2019).



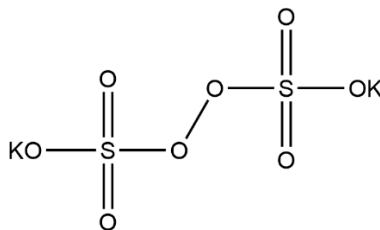
Gambar 2.3 Struktur Asam Itakonat (Y. Huang *et al.*, 2002a)

Struktur IA mencakup dua gugus karboksil yang mudah teroksidasi dan bertindak sebagai tempat serangan untuk degradasi enzimatik. IA memiliki karakteristik berbentuk bubuk kristal putih alami, tidak beracun, dan mudah terurai secara hayati. Struktur IA terdapat pada Gambar 2.3. IA menjadi suatu komonomer potensial yang dapat terurai secara hayati dan berpotensi meningkatkan laju degradasi bioadhesif jika direaksikan dengan komonomer yang bersifat sama. Minat pada IA muncul kembali ketika ditemukan bahwa IA dapat

diproduksi dalam jumlah besar melalui proses fermentasi. Saat ini IA diproduksi melalui fermentasi karbohidrat seperti glukosa. Aplikasi yang paling umum dari polimer berbasis IA antara lain dalam bentuk restorasi gigi *glass-ionomer*, cangkok hidrogel untuk pemberian obat oral, dan dalam industri cat, tekstil, perekat, cetakan plastik, dan pelapis kertas (Cummings *et al.*, 2016b).

3. Kalium Peroksidisulfat

Kalium peroksidisulfat merupakan inisiator dalam polimerisasi radikal (Khalil *et al.*, 1993; Kianfar *et al.*, 2021; Marques *et al.*, 2016). Ion peroksidisulfat dalam larutan berair adalah salah satu oksidator paling ringan yang diketahui dan telah digunakan dalam oksidasi sejumlah besar senyawa organik. Selain memiliki sifat oksidator yang kuat, ion peroksidisulfat juga merupakan inisiator disosiatif untuk polimerisasi (Khulbe *et al.*, 1982). Struktur kalium peroksidisulfat seperti pada Gambar 2.4.

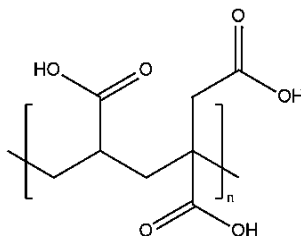


Gambar 2.4 Struktur kalium peroksidisulfat (Sigma-Aldrich, 2024)

Inisiator memengaruhi reaksi polimerisasi dan dapat menjadi salah satu aspek kontrol dalam reaksi (Ng *et al.*, 2011). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi inisiator juga dapat memengaruhi berat molekul dari polimer. Semakin tinggi konsentrasi kalium peroksidisulfat yang digunakan, maka berat molekul polimer semakin rendah (C. Huang *et al.*, 2017).

4. ***Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)***

Poly(acrylic acid-co-itaconic acid) merupakan kopolimer dari monomer *acrylic acid* dan *itaconic acid*. Kopolimer ini dibuat untuk memperbaiki sifat bioadhesif dan *biodegradable* dari polimer *poly(acrylic acid)* (Cummings *et al.*, 2016b). Struktur *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* terdapat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur *Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* (Cummings *et al.*, 2016a)

Pemanfaatan *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* tidak hanya terbatas pada bidang biomedis. Polimer ini dapat digunakan sebagai adsorben, perekat *Glass Ionomer Cement* (GIC), dan *coating material* (Balilvand *et al.*, 2022a; Kashyap *et al.*, 2022b; Katime & Rodríguez, 2001; Pourjavadi & Tehrani, 2016; Rodríguez & Katime, 2003). Kopolimer memiliki kelebihan jika digunakan terutama dalam GIC karena dapat dimodifikasi panjang rantainya yang dapat memengaruhi kuat tekan, kompabilitas, sifat adhesi, dan sifat optik dari semen (Abbasi *et al.*, 2020; Cummings *et al.*, 2016b).

5. Berat Molekul Polimer

Berat molekul polimer merupakan fungsi dari jumlah monomer pada suatu rantai polimer dan berat molekul monomer (Rochmadi & Permono, 2015a). Berat molekul dapat bervariasi dari angka satu digit untuk unsur kimia sederhana hingga jutaan untuk polimer kompleks (Gowariker *et al.*, 2005). Polimer terdiri dari unit monomer yang lebih kecil dengan ukuran dan berat molekul berbeda. Monomer-monomer yang mengalami polimerisasi akan membentuk sebuah rantai polimer. Pada proses polimerisasi, tahap selesainya pembentukan rantai polimer (terminasi) terjadi secara acak. Oleh karena itu, sampel polimer dapat dianggap sebagai

campuran molekul dengan komposisi kimia yang sama, tetapi dengan berat molekul berbeda (Carraher & Seymour, 2003; Kabir, 2017).

Perbedaan berat molekul polimer berpengaruh pada viskositas, kekuatan tarik, modulus elastis, kekuatan tekan, serta ketahanan terhadap panas dan korosif (Carraher & Seymour, 2003; Kabir, 2017). Berat molekul juga memengaruhi hasil aplikasi polimer sebagai perekat semen tulang. Polimer dengan berat molekul tinggi berguna untuk meningkatkan nilai kuat tekan suatu semen tulang. Penelitian oleh Abbasi (2020) menunjukkan hasil bahwa tren peningkatan kuat tekan terlihat pada semen tulang seiring dengan peningkatan berat molekul polimer.

6. Pelarut dalam Sintesis Polimer

Pelarut dalam proses polimerisasi dapat memengaruhi laju propagasi monomer, terutama dalam reaksi kopolimerisasi radikal bebas. Efek pelarut ini tidak hanya menyebabkan perubahan dalam laju propagasi secara keseluruhan, tetapi juga dapat mengubah komposisi dan struktur mikro kopolimer. Salah satu mekanisme utama di mana pelarut memengaruhi kinetika propagasi dalam reaksi kopolimerisasi radikal bebas adalah melalui pengaruh polaritas (Coote *et al.*, 1998).

Polaritas pelarut memengaruhi reaktivitas tahap propagasi tanpa terlibat langsung dalam reaksi. Pelarut polar dikenal dapat menstabilkan spesies bermuatan, yang menghasilkan efek menguntungkan pada aspek termodinamika dan kinetika reaksi yang melibatkan muatan. Oleh karena itu, polaritas pelarut akan memengaruhi stabilitas perpindahan spesies bermuatan (Coote *et al.*, 1998).

Kajian lebih mendalam terkait efek polaritas pelarut ini yaitu mengenai interaksi antarmolekul monomer. Pada pelarut dengan sifat cenderung polar, akan terjadi interaksi dipol-dipol antara monomer dan pelarut yang keduanya bersifat polar. Adapun pada pelarut yang bersifat non polar akan terbentuk dipol sesaat dengan monomer yang bersifat polar. Jenis interaksi antarmolekul ini lebih lemah dibandingkan dengan interaksi dipol-dipol sehingga proses pengikatan monomer akan terhambat (Chang, 2018; Coote *et al.*, 1998; Rahman, 2021).

B. Metode-Metode Sintesis Polimer

Variasi produk polimer sangat banyak, mulai dari karet sintesis, nilon, gabus putih sampai beberapa jenis plastik. Keberagaman produk polimer bergantung pada sifat fisika

dan kimia produk polimer itu sendiri serta monomer sebagai bahan baku. Oleh karena itu, proses sintesis polimer juga memiliki beberapa teknik. Proses polimerisasi dapat diklasifikasikan sebagai homogen atau heterogen (Ebewe, 2000; Rochmadi & Permono, 2015a).

Polimerisasi homogen merupakan proses polimerisasi yang melarutkan semua reaktan, termasuk monomer, inisiator, dan pelarut. Adapun polimerisasi heterogen merupakan proses polimerisasi di mana reaktan dan produk polimer tidak larut satu sama lain. Polimerisasi homogen terdiri dari sistem *bulk* (ruah) atau larutan, sedangkan reaksi polimerisasi heterogen dapat dikategorikan sebagai suspensi, emulsi, fase gas, dan polimerisasi antarmuka (Ebewe, 2000; Rochmadi & Permono, 2015a). Berikut penjelasan mengenai jenis-jenis proses polimerisasi.

1. Polimerisasi Homogen

a) Polimerisasi *Bulk*

Polimerisasi *bulk* adalah teknik polimerisasi paling sederhana karena tidak menggunakan pelarut. Umumnya, campuran pada metode ini berisi monomer dan inisiator. Polimerisasi *bulk* banyak dilakukan dalam pembuatan polimer *step-growth* (kondensasi). Meskipun demikian, dapat digunakan juga untuk polimerisasi *chain-growth* (adisi). Metode ini memiliki

kelebihan yaitu tidak perlu memisahkan produk dengan pelarut sehingga lebih ekonomis. Namun, kelemahan pada metode ini cukup banyak dan perlu penanganan yang tepat jika ingin menggunakan metode ini. Kelemahan paling berbahaya adalah terjadinya reaksi tak terkendali yang disebabkan oleh panas reaksi tak terkontrol. Hal ini dapat terjadi karena peningkatan viskositas selama reaksi, akibatnya adalah panas pada reaksi sulit berpindah. Kelemahan lainnya terkait peningkatan viskositas yang juga dapat menyebabkan efek gel yang memengaruhi hasil produk polimer (Ebewe, 2000; Rochmadi & Permono, 2015a).

b) Polimerisasi Larutan

Polimerisasi larutan merupakan teknik polimerisasi yang menggunakan pelarut dalam prosesnya. Pelarut digunakan untuk mengencerkan larutan, agar larutan tidak terlalu kental saat proses polimerisasi. Pelarut juga berfungsi mengontrol panas yang dihasilkan selama proses polimerisasi, sehingga suhu reaksi dapat dikontrol dengan baik. Pelarut yang digunakan dapat berupa pelarut organik ataupun air. Pengendalian terhadap panas dan kekentalan selama proses reaksi ini akan meminimalisir efek gel dan

reaksi tak terkendali. Kekurangan metode ini yaitu perlunya pemisahan antara pelarut dengan polimer hasil sintesis (Ebewe, 2000; Rochmadi & Permono, 2015a).

2. Polimerisasi Heterogen

a) Polimerisasi Suspensi

Polimerisasi suspensi umumnya melibatkan dispersi monomer, terutama sebagai cairan dalam tetesan kecil. Cairan monomer tersebut diteteskan ke dalam media penstabil yang biasanya terdiri dari air yang mengandung sedikit suspensi dan zat pendispersi. Dengan begitu akan terbentuk tetesan (*droplets*) monomer yang terdispersi dalam air yang berfungsi sebagai media pertukaran panas. Polimerisasi terjadi di setiap tetesan monomer. Pada akhir reaksi, tetesan akan menjadi butiran polimer padat. Keuntungan teknik ini adalah mudahnya pengendalian panas dan pemisahan air yang relatif lebih mudah dibanding pelarut organik (Ebewe, 2000; Rochmadi & Permono, 2015a).

b) Polimerisasi Emulsi

Polimerisasi emulsi memiliki kemiripan dengan polimerisasi suspensi, hanya saja pada teknik emulsi diperlukan *emulsifier* atau senyawa pengemulsi.

Senyawa pengemulsi ini adalah dari jenis surfaktan. Surfaktan memiliki dua ujung yang sifatnya berbeda. Surfaktan tersebut akan larut dalam air, tetapi pada konsentrasi tertentu akan menjadi jenuh. Konsentrasi pada larutan jenuh ini dinamakan *critical micelle concentration* (CMC), yaitu pembentukan misel oleh molekul-molekul surfaktan. Pada teknik ini, proses polimerisasi akan terjadi di dalam misel. Hasil polimerisasi emulsi biasa disebut dengan lateks (Ebewe, 2000; Rochmadi & Permono, 2015a).

C. Reaksi Polimerisasi Mekanisme Radikal Bebas

Mekanisme reaksi polimerisasi radikal bebas merupakan salah satu mekanisme reaksi dalam reaksi polimerisasi adisi atau polimerisasi *chain-growth*. Radikal bebas adalah sebuah gugus yang sangat reaktif karena memiliki elektron tanpa pasangan. Polimerisasi reaksi radikal bebas diinduksi oleh penambahan reagen pembentuk radikal bebas atau oleh inisiator ionik. Tahapan mekanisme reaksi ini yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi (Ebewe, 2000; Rochmadi & Permono, 2015a).

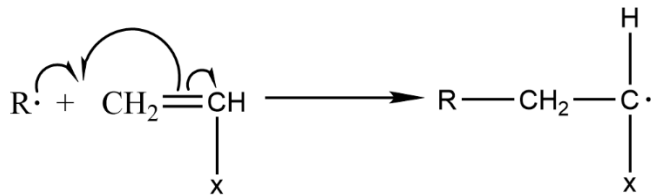
1. Inisiasi

Tahap inisiasi adalah reaksi awal pembentukan radikal bebas. Inisiasi melibatkan akuisisi situs aktif

oleh monomer. Hal ini dapat terjadi secara spontan melalui penyerapan panas, cahaya (ultraviolet), atau penyinaran energi tinggi. Meskipun demikian, inisiasi polimerisasi radikal bebas sering kali disebabkan oleh penambahan sejumlah kecil senyawa yang disebut inisiator. Inisiator yang umum termasuk peroksida, senyawa azo, asam Lewis, dan reagen organologam. Inisiator bukanlah katalis karena dapat diubah secara kimia selama polimerisasi meskipun inisiator dapat memicu inisiasi rantai dan memberikan pengaruh yang mempercepat laju polimerisasi. Inisiator biasanya merupakan senyawa organik lemah yang dapat terurai secara termal atau iradiasi untuk menghasilkan radikal bebas, yaitu molekul yang mengandung atom dengan elektron tidak berpasangan (Ebewele, 2000; Rochmadi & Permono, 2015a).

Inisiator akan terdisosiasi menjadi gugus yang reaktif (radikal bebas) dengan adanya elektron bebas tanpa pasangan (*lone-pair electron*) pada tahap inisiasi. Radikal bebas hasil disosiasi akan menyerang monomer sehingga terbentuk radikal bebas baru (asosiasi). Monomer yang sudah bersifat radikal akan menjadi sangat reaktif. Jadi, prinsip tahapan inisiasi adalah aktivasi monomer menjadi monomer radikal yang

reaktif (Rochmadi & Permono, 2015a). Mekanisme reaksi tahap inisiasi tertera pada Gambar 2.6.



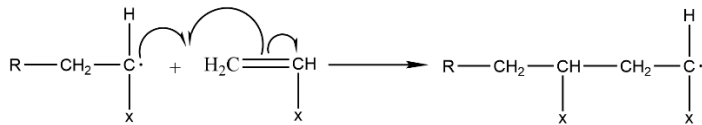
Gambar 2.6 Mekanisme Reaksi Polimerisasi Tahap Inisiasi (Kabir, 2017)

$R\cdot$ merupakan inisiator yang telah menjadi radikal bebas. Inisiator ini akan bereaksi dengan monomer dan membentuk radikal bebas baru. Selanjutnya yang bersifat radikal adalah monomer.

2. Propagasi

Tahap propagasi berperan dalam pertumbuhan panjang rantai polimer. Monomer radikal dari tahap inisiasi akan bereaksi dengan molekul monomer lain terus-menerus. Hal ini melibatkan penambahan radikal bebas ke ikatan rangkap monomer, dengan regenerasi radikal lain. Dengan demikian, pusat reaksi radikal akan terus-menerus dipindahkan ke ujung rantai polimer yang sedang tumbuh hingga terbentuk radikal polimer rantai panjang (Ebewe, 2000; Rochmadi & Permono,

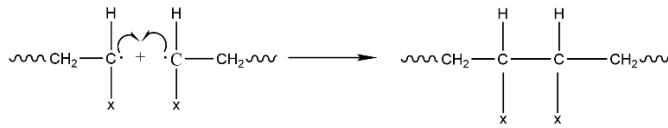
2015a). Mekanisme reaksi tahap propagasi tertera pada Gambar 2.7.



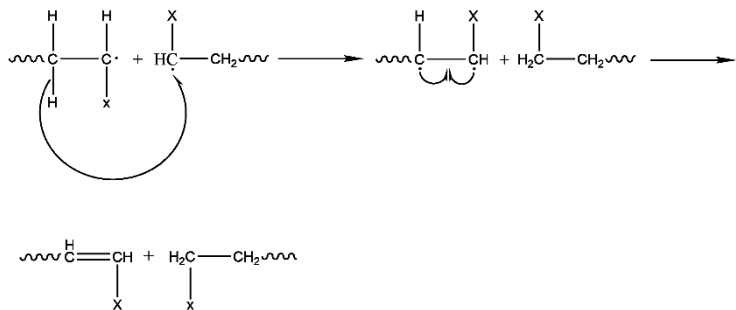
Gambar 2.7 Mekanisme Reaksi Polimerisasi Tahap Propagasi (Ebewe, 2000; Kabir, 2017)

3. Terminasi

Terminasi merupakan tahap berakhirnya reaksi polimerisasi. Terdapat dua kemungkinan terjadinya tahap terminasi, yaitu dengan cara kombinasi (*coupling*) dan cara disproporsionasi. Penghentian reaksi melalui cara kombinasi berjalan dengan tumbukan antara dua rantai polimer yang sedang tumbuh. Masing-masing molekul tersebut kemudian berinteraksi dengan cara memasang elektron bebas yang dimiliki (Ebewe, 2000; Rochmadi & Permono, 2015a). Adapun dalam disproporsionasi, atom reaktif (biasanya hidrogen) berpindah dari satu radikal polimer ke radikal polimer lainnya (Ebewe, 2000). Mekanisme reaksi tahap terminasi dengan cara kombinasi tertera pada Gambar 2.8 dan cara disproporsionasi pada Gambar 2.9.



Gambar 2.8 Mekanisme Reaksi Tahap Terminasi dengan Cara Kombinasi (Kabir, 2017)



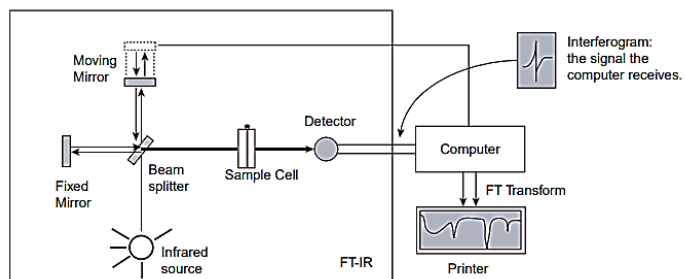
Gambar 2.9 Mekanisme Reaksi Tahap Terminasi dengan Cara Disproporsionasi (Kabir, 2017)

D. Karakterisasi Polimer

1. *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*

Fourier transform infrared (FTIR) merupakan salah satu teknik analisis yang penting. Jenis analisis ini dapat digunakan untuk mengkarakterisasi sampel dalam bentuk cairan, larutan, pasta, bubuk, film, serat, dan gas. Analisis ini juga memungkinkan untuk menganalisis material pada permukaan substrat. Prinsip analisis ini yaitu interaksi antara sampel dengan radiasi infra merah

(IR). Prinsipnya, sumber infra merah akan melewati celah dan dipecah menjadi dua berkas cahaya. Satu berkas cahaya akan dipantulkan menuju sampel dan berkas lainnya akan berperan sebagai berkas referensi. Apabila sampel telah menyerap sinar dari frekuensi tertentu, maka cahaya yang diteruskan akan ditangkap oleh detektor dan diteruskan untuk dibaca perbedaan frekuensi dengan berkas referensi oleh komputer (Sastrohamidjojo, 2001). Hal tersebut digambarkan sebagaimana Gambar 2.10. Atom molekul dalam sampel yang terkena radiasi infra merah akan mengalami getaran atom yang menghasilkan penyerapan dan/atau transmisi energi tertentu. Ini membuat FTIR berguna untuk menentukan getaran molekul spesifik yang terkandung dalam sampel (Nandiyanto *et al.*, 2019).



Gambar 2.10 Prinsip Kerja Instrumen FTIR (Pavia *et al.*, 2009)

Tabel 2.1 Data referensi bilangan gelombang pada hasil pengujian FTIR (Pavia *et al.*, 2009)

Tipe Vibrasi		Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Ket.
C=C	Alkena	1660–1600	
C=O	Asam karboksilat	1730 –1700	Serapan sedikit melebar
C-O	Asam karboksilat	1320 –1210	Serapan medium
O-H	Asam karboksilat	3400–2400	Serapan sangat melebar

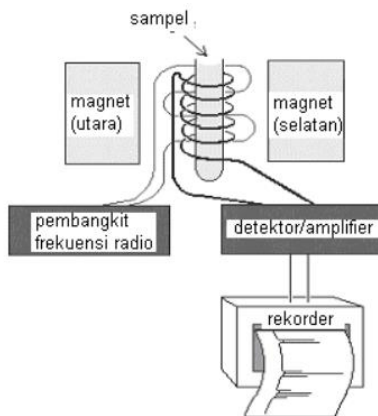
Analisis FTIR pada sintesis kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* digunakan untuk memantau ikatan rangkap pada hasil polimerisasi. Keberadaan ikatan rangkap dipantau pada bilangan gelombang 1620 cm⁻¹. Asumsinya adalah ketika pada bilangan gelombang tersebut tidak lagi terdeteksi ikatan rangkap maka proses polimerisasi telah berhasil dilakukan (Y. Huang *et al.*, 2002a). Serapan-serapan penting gugus fungsi lain seperti tertera pada Tabel 2.1.

2. *Nuclear Magnetic Ressonance (NMR)*

Nuclear Magnetic Ressonance (NMR) merupakan teknik analisis yang memanfaatkan medan magnet kuat yang homogen dan konstan serta diradiasi oleh sinar gelombang radio (foton). Hasil yang dideteksi berupa sinyal magnetik yang dihasilkan. Proses radiasi mengakibatkan atom-atom pada sampel menjalani transisi (beresonansi) magnetik pada berbagai tingkat keadaan (energi dan fasa). Inti-inti atom tersebut memancarkan sinyal magnetik yang disebut peluruhan induksi bebas (*Free Induction Decay*, FID) yang dideteksi oleh peralatan elektronik dan ditangkap secara digital. FID tersebut diproses dengan metode komputasi untuk menghasilkan sinyal-sinyal NMR dari sampel yang dianalisis. Teknik analisis ini merupakan suatu teknik ketika inti-inti atom dibiarkan dalam pengaruh medan magnet untuk melakukan resonansi dengan sinar gelombang radio dan menangkap sinyal magnetik yang dihasilkan akibat resonansi tersebut (Syah, 2014a).

Spektrum NMR proton (^1H -NMR) melaporkan sinyal-sinyal dari inti proton (^1H). Pada spektrum ^1H -NMR terdapat empat parameter, yaitu nilai geseran kimia (δ), integrasi sinyal, multiplisitas sinyal, dan konstanta

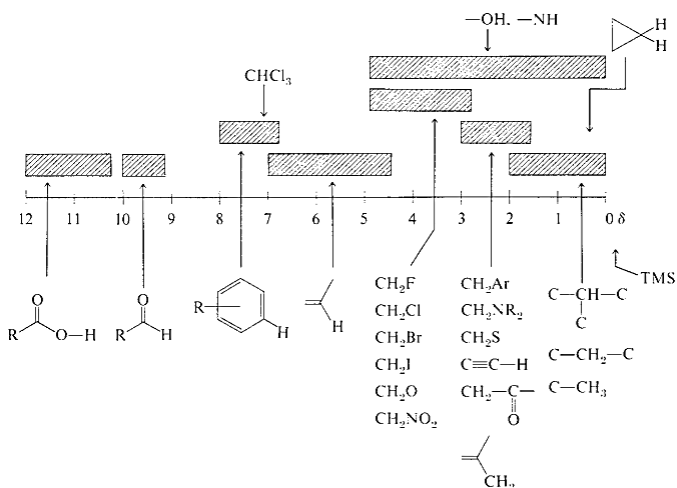
kopling. Hasil analisis ^1H -NMR berperan penting untuk menentukan struktur senyawa (Syah, 2014b).



Gambar 2.11 Prinsip Kerja Instrumen ^1H -NMR
(Dachriyanus, 2004)

Prinsip kerja ^1H -NMR ditunjukkan pada Gambar 2.11. Pada pengujian ^1H -NMR, sampel dilarutkan dalam pelarut yang tidak mengandung proton dan sedikit tetrametilsilan (TMS) sebagai standar. Tabung sampel diletakkan di antara dua kutub magnet dan dikelilingi dua kumparan yang tersambung dengan generator radio dan detektor. Kumparan yang tersambung dengan generator radio akan memberikan tenaga elektromagnetik yang dapat mengubah orientasi perputaran proton. Apabila sampel menyerap energi dari generator radio, maka

atom-atomnya akan beresonansi dan menghasilkan sinyal frekuensi radio pada kumparan detektor. Sinyal ini akan dicatat oleh alat sebagai sinyal resonansi. Data H-NMR akan memberikan hasil berupa jumlah atom hidrogen beserta keterangan tentang sifat lingkungan dari setiap tipe atom hidrogen tersebut (Sastrohamidjojo, 2001).



Gambar 2.12 Nilai Geseran Kimia Untuk Proton Pada Instrumen ^1H -NMR (Pavia *et al.*, 2009)

NMR digunakan untuk mengamati struktur hasil kopolimerisasi antara asam akrilat dan asam itakonat menjadi suatu rantai kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*. Sinyal yang muncul adalah metilen dan

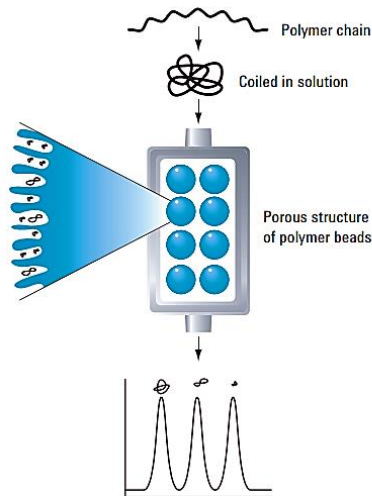
metin milik masing-masing monomer (Abbasi *et al.*, 2020). Data geseran kimia pada hasil pengujian H-NMR dapat dilihat pada Gambar 2.12.

3. *Gel Permeation Chromatography* (GPC)

Gel Permeation Chromatography (GPC) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur berat molekul polimer. Hasilnya berupa distribusi berat molekul karena berat molekul polimer yang bervariasi sehingga dapat dinyatakan dalam bentuk kurva distribusi. Prinsip metode ini yaitu dengan melewati campuran polimer dengan tetrahidrofuran melalui suatu kolom berisi buliran berpori yang diameternya bervariasi seperti ilustrasi pada Gambar 2.13. Perbedaan berat molekul dari masing-masing rantai polimer menyebabkan waktu tinggal tiap rantai berbeda. Hal ini dikarenakan ada molekul yang dapat menembus pori dan ada pula yang tidak. Pori ini pada umumnya terbuat dari polistiren *crosslinking* (Rochmadi & Permono, 2015b).

Analisis menggunakan GPC sesuai untuk pengerjaan preparatif dan analitis dengan sistem yang variatif. Sistem yang dianalisis dapat dimulai dari massa molekul rendah sampai yang sangat tinggi. Berbagai jenis pelarut dan polimer dapat digunakan pada metode ini. Namun pemilihan pelarut juga bergantung pada jenis gel yang

digunakan. Keuntungan analisis ini yaitu proses distribusi massa atau pemisahan dari massa molekul polimer yang besar dapat berlangsung dengan cepat (Rahayu, 2020).



Gambar 2.13 Prinsip Kerja Instrumen GPC (Agilent, 2015)

E. Kajian Riset yang Relevan

Huang *et al.* (2002) mengkomparasi dua metode sintesis *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*. Metode pertama dengan campuran metanol-karbon dioksida dan metode kedua dengan pelarut air yang ditambahkan *chain transfer agent*. Metode pertama menggunakan alat tekanan tinggi dan metode kedua menggunakan FTIR portabel untuk menganalisis ikatan C=C milik monomer. Pada metode kedua,

proses polimerisasi akan dihentikan jika ikatan C=C sudah tidak terdeteksi. Hasilnya, derajat konversi metode pertama sebesar 75-80% dengan berat molekul $3,18 \times 10^4$ g/mol dan pada metode kedua sebesar 60-70% dengan berat molekul $2,88 \times 10^4$ g/mol. Artinya, metode dengan campuran metanol-karbon dioksida lebih efektif karena menghasilkan berat molekul dan derajat konversi yang lebih tinggi.

Cummings *et al.* (2016) melakukan sintesis *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* dengan reaktor RC1e yang dialiri gas nitrogen. Semua monomer, inisiator, dan pelarut (air deionisasi) dimasukkan ke dalam reaktor kemudian proses sintesis dilakukan di dalam reaktor. Penelitian ini memvariasikan %mol dari asam akrilat, yaitu 75%, 83%, dan 90%. Hasilnya, konversi tertinggi dalam metode ini mencapai 21,07% pada variasi asam akrilat 90 %mol.

Kashyap *et al.* (2022) melakukan polimerisasi *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* dengan perbandingan asam akrilat (AA) dan asam itakonat (IA). Variasi yang digunakan AA:IA yaitu 1:2, 1:1, 2:1, dan 3:1. Polimerisasi pada penelitian ini dibantu dengan radiasi sinar γ dan dikeringkan dengan keadaan vakum. Hasilnya, kenaikan rasio molar AA berbanding lurus dengan derajat konversi dari kopolimer. Derajat konversi tertinggi hampir mencapai 70% dengan perbandingan AA:IA 3:1.

Balilvand *et al.* (2022) melakukan polimerisasi *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* dengan metode *photocopolymerization* yang divariasikan penambahan asam triglikolat sebagai *chain transfer agent* (CTA). Metode polimerisasi ini menggunakan lampu UV (360 nm) sebagai sumber sinar. Fotoinisiator yang digunakan adalah difenil (2,4,6-trimetil benzoil) fosfin oksida (TPO). Hasilnya, penambahan CTA memengaruhi berat molekul kopolimer yang artinya berpengaruh pada panjang rantai polimer hasil sintesis. Konsentrasi CTA berbanding terbalik dengan berat molekul dan panjang rantai polimer. Semakin tinggi konsentrasi CTA, maka berat molekul polimer akan semakin rendah.

Beuermann (2009) melakukan studi tentang pengaruh pelarut pada kinetika propagasi dalam polimerisasi radikal. Studi ini dipelajari dengan metode *pulsed laser initiated polymerization* (PLP) dan dianalisis dengan *Size Exclusion Chromatography* (SEC) sehingga kemudian disebut metode polimerisasi PLP-SEC. Penelitian ini mensintesis beberapa polimer dengan variasi pelarut. Pelarut yang digunakan adalah pelarut organik, air, cairan ionik, CO₂ superkritis. Hasilnya, masing-masing pelarut mempunyai penyebab yang sangat berbeda terhadap laju propagasi dalam polimerisasi radikal, misalnya, mode rotasi yang terhambat, ikatan

hidrogen, atau interaksi donor/akseptor pasangan elektron. Adapun interaksi non-spesifik, ukuran dan efek sterik menyebabkan perubahan yang agak kecil di sekitar ujung rantai radikal. Dapat disimpulkan bahwa pelarut memiliki pengaruh terhadap pembentukan rantai polimer (tahap propagasi), sehingga akan memengaruhi panjang rantai dan berat molekul polimer.

Berdasarkan kajian pada penelitian di atas, diketahui faktor-faktor seperti rasio molar, pelarut, metode, dan *chain transfer agent* dapat memengaruhi hasil polimerisasi. Dalam penelitian ini akan disintesis *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* dengan variasi pelarut dan menggunakan metode polimerisasi larutan. Dari kajian pustaka di atas, pelarut dapat memengaruhi laju propagasi dalam mekanisme polimerisasi, sehingga pada penelitian ini memiliki hipotesis bahwa perbedaan pelarut dapat memengaruhi berat molekul *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*.

F. Hipotesis Penelitian

Variasi pelarut pada proses polimerisasi *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* akan memengaruhi mekanisme reaksi polimerisasi tahap propagasi. Hal ini berkaitan dengan kemampuan monomer untuk bereaksi sehingga menyebabkan perbedaan panjang rantai dan berat molekul

kopolimer. Dengan demikian, diharapkan dapat diketahui pelarut yang efisien digunakan untuk proses polimerisasi *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* dan menghasilkan berat molekul tinggi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama empat bulan dalam rentang 28 Agustus – 15 Desember 2023 di Gedung 224 Pusat Riset Material Maju Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan IPTEK B. J. Habibie, Muncul, Tangerang Selatan, Banten.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat gelas, botol duran, spatula, *hotplate stirrer*, wadah penangas, timbangan analitik, cawan porselein, oven, dan alat karakterisasi *Fourier Transform InfraRed* (FTIR, Bruker Tensor 27 dan Alpha II), *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR, Bruker, Avance Neo 700MHz), dan *Gel Permeation Chromatography* (GPC, TOSOH, HLC – 8320).

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bahan dengan tingkat kemurnian *pro analysis*, yaitu asam akrilat (Sigma-Aldrich), asam itakonat (Sigma-

Aldrich), kalium peroksidisulfat (Merck), isopropil alkohol (Merck), dan aseton (Merck); serta akuades.

C. Prosedur Kerja

1. Uji Kelarutan Monomer dan Inisiator dalam Pelarut

Uji kelarutan ini diadaptasi dari metode Pavia *et al.* (2016) tentang uji kelarutan untuk sampel padat dan cair.

a) Sampel Padat

Pengujian sampel padat digunakan untuk bahan asam itakonat dan kalium peroksidisulfat. Sebanyak 4 buah tabung reaksi dilabeli sesuai nama 3 pelarut (aseton, akuades, isopropanol) dan 1 tabung lainnya sebagai kontrol. Sampel padat ditimbang sebanyak 0,04 g. Masing-masing tabung diisi dengan 1 mL pelarut. Uji kelarutan dilakukan dengan menuangkan sampel ke dalam tabung yang telah berisi pelarut. Setelah sampel dituang, aduk campuran dalam tabung selama 1 menit dan dibandingkan banyak sampel yang belum terlarut dengan sampel pada tabung kontrol. Setelah pengadukan selama 1 menit dapat diperhatikan apakah senyawa tersebut larut (larut sempurna), tidak larut (tidak ada yang larut), atau larut sebagian.

b) Sampel Cair

Pengujian sampel cair digunakan untuk bahan asam akrilat dalam pelarut aseton, aquades, dan isopropanol. Uji kelarutan dilakukan dengan menambahkan 1 mL pelarut ke dalam tabung reaksi. Kemudian ditambahkan asam akrilat setetes demi setetes. Dikocok tabung setelah menambahkan setiap tetes. Dilanjutkan penambahan asam akrilat sambil dikocok hingga total 20 tetes. Setelah itu dapat diamati kelarutan asam akrilat dalam masing-masing pelarut.

2. Sintesis *Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

D. Karakterisasi Polimer

1. *Fourier Transform InfraRed (FTIR)*

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi apakah ikatan C=C milik monomer sudah hilang dan ikatan C-O, C=O, dan -OH yang terdapat pada rantai polimer. Analisis dilakukan dengan menghaluskan sedikit sampel bersama KBr lalu dijadikan *pellet*. *Pellet* campuran tersebut ditempatkan di holder lalu diidentifikasi pada bilangan gelombang antara 4000-500 cm^{-1} . Data yang

dihasilkan berupa bilangan gelombang (cm^{-1}) dan intensitas serapan (%T).

2. *Nuclear Magnetic Ressonance (NMR)*

Karakterisasi ^1H -NMR pada polimer dilakukan untuk mengidentifikasi struktur senyawa hasil polimerisasi. Analisis dilakukan dalam pelarut deuterium oksida (D_2O), konsentrasi sampel sekitar 50 ppm, dan pada suhu 75°C . Hasilnya akan didapatkan grafik yang memuat nilai geseran kimia senyawa dalam sampel.

3. *Gel Permeation Chromatography (GPC)*

Uji GPC dilakukan untuk mengidentifikasi berat molekul polimer. Analisis dilakukan dalam pelarut akuades dan standar polietilen oksida. Hasilnya akan didapatkan data berat molekul polimer hasil sintesis.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Kelarutan Monomer dan Inisator dalam Pelarut

Kelarutan monomer dan inisiator memegang peran krusial dalam proses polimerisasi. Inisiator bertindak sebagai radikal yang memulai tahap inisiasi, di mana kelarutan yang optimal dari inisiator mendukung pembentukan banyak rantai polimer. Tingkat kelarutan yang tinggi akan menghasilkan konsentrasi radikal inisiator yang lebih besar, sehingga meningkatkan jumlah radikal yang menginisiasi proses reaksi (Putri, 2008). Sementara itu, kelarutan monomer memengaruhi tahap propagasi. Semakin baik kelarutan monomer dalam pelarut, maka memengaruhi panjang rantai polimer yang terbentuk (Beuermann, 2009). Faktor ini disebabkan oleh kemudahan difusi dan reaksi antara monomer dengan rantai polimer yang sedang bertumbuh, ketika monomer larut dengan baik dalam pelarut yang digunakan.

Uji kelarutan pada monomer dan inisiator menjadi penting untuk mempelajari reaksi antara monomer/inisiator dengan pelarut yang akan digunakan. Pelarut diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan kemampuannya untuk membentuk ikatan hidrogen dengan

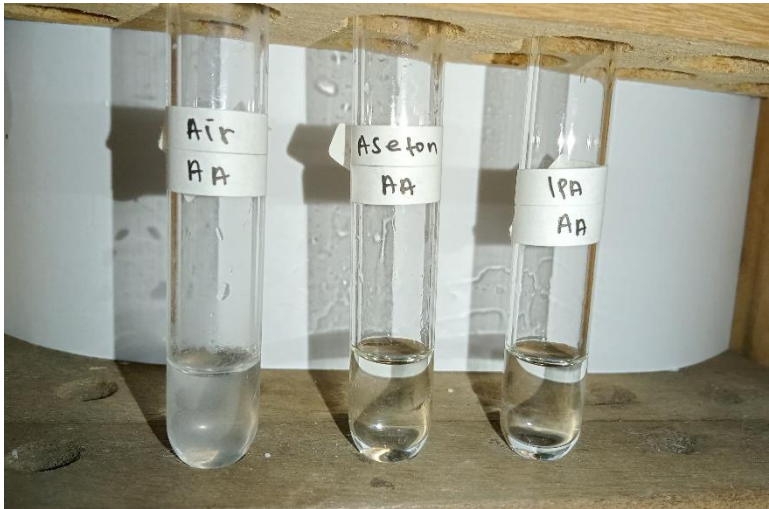
senyawa lain, yaitu polar protik dan polar aprotik. Pelarut polar protik merupakan pelarut yang mampu bertindak sebagai donor proton (H^+). Adapun polar aprotik merupakan pelarut yang tidak memiliki atom hidrogen sehingga tidak dapat membentuk ikatan hidrogen (Muller, 1994).

Penelitian ini menggunakan pelarut polar protik (air dan isopropanol) dan polar aprotik (aseton). Berdasarkan hasil uji kelarutan pada Tabel 4.1, monomer memiliki kelarutan yang baik dalam aseton dan isopropanol. Pada pelarut air, asam akrilat tidak dapat terlarut dengan baik. Hal ini dapat terjadi karena asam akrilat memiliki kepolaran rendah akibat rantai alkil yang memiliki ikatan rangkap. Kalium peroksidisulfat yang berperan sebagai inisiator memiliki kelarutan yang baik dalam air. Adapun berdasarkan hasil uji kelarutan, kalium peroksidisulfat memiliki kelarutan yang rendah dalam aseton dan isopropanol. Kelarutan inisiator yang baik dapat menghasilkan konsentrasi inisiator dalam larutan menjadi lebih tinggi. Fenomena ini akan menguntungkan proses inisiasi dalam sintesis polimer, karena akan tersedia banyak radikal yang dapat menginisiasi pembentukan rantai polimer. Visualisasi hasil uji kelarutan monomer dan inisiator dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.

Tabel 4.1 Hasil uji kelarutan bahan dalam pelarut

Bahan	Pelarut		
	Air	Aseton	IPA
Asam itakonat	Larut sempurna	Larut sempurna	Larut sempurna
Asam akrilat	Tidak larut	Larut sempurna	Larut sempurna
Kalium peroksidisulfat	Larut sempurna	Setengah larut	Setengah larut

**Gambar 4.1** Hasil uji kelarutan monomer asam itakonat dalam masing-masing pelarut



Gambar 4.2 Hasil uji kelarutan monomer asam akrilat dalam masing-masing pelarut

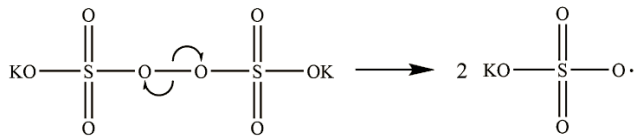


Gambar 4.3 Hasil uji kelarutan inisiator kalium peroksidisulfat dalam masing-masing pelarut

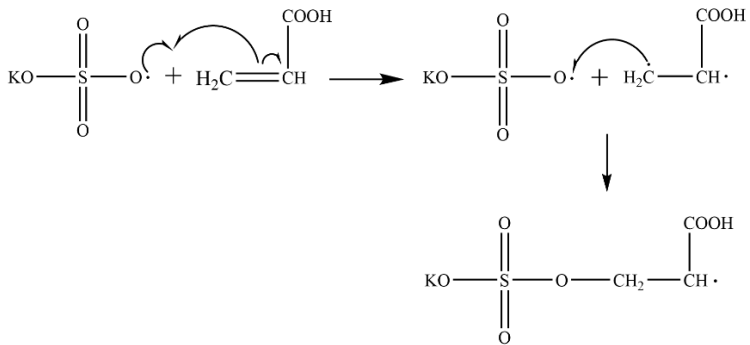
B. Sintesis Kopolimer

Sintesis kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* menggunakan $K_2S_2O_8$ (kalium peroksidisulfat) sebagai inisiator. Inisiator ini digunakan pada metode polimerisasi larutan karena mudah larut dalam air (Putri, 2008). Kelarutan inisiator akan memengaruhi tahap inisiasi dalam mekanisme reaksi polimerisasi.

Pembentukan *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* terjadi melalui beberapa tahapan mekanisme reaksi polimerisasi adisi atau mekanisme radikal bebas (Y. Huang *et al.*, 2002a). Tahap pertama dalam proses polimerisasi ini adalah tahap inisiasi. Tahap inisiasi terbagi menjadi dua sub, yaitu disosiasi dan asosiasi. Pada tahap disosiasi terjadi pemutusan ikatan pada inisiator sehingga membentuk dua radikal bebas. Mekanisme inisiasi disosiasi terdapat pada Gambar 4.4. Selanjutnya radikal bebas dari inisiator akan bereaksi dengan monomer pada tahap asosiasi. Ikatan π (π) pada rantai monomer akan terputus. Kemudian akan terbentuk ikatan dengan inisiator dan monomer menjadi radikal. Mekanisme tahap inisiasi asosiasi terdapat pada Gambar 4.5.

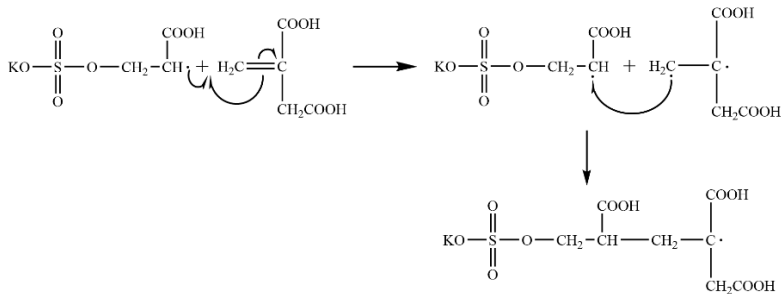


Gambar 4.4 Mekanisme Reaksi Tahap Inisiasi Disosiasi

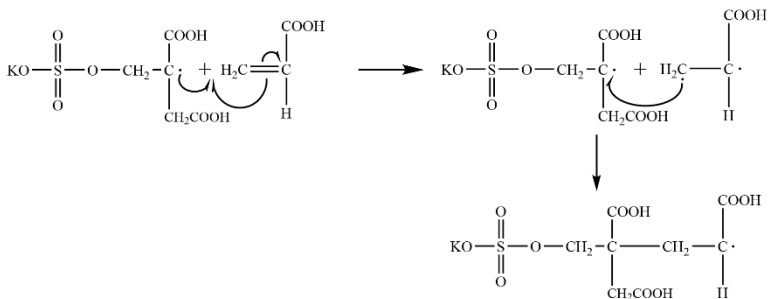


Gambar 4.5 Mekanisme Reaksi Tahap Inisiasi Asosiasi

Radikal pada sebuah rantai polimer akan terus berpindah seiring dengan bereaksinya rantai yang sedang tumbuh dengan asam akrilat atau asam itakonat. Proses ini disebut dengan tahap propagasi. Pada tahap propagasi akan terjadi pemanjangan rantai polimer hingga terjadinya terminasi. Potensi mekanisme tahap propagasi terdapat pada Gambar 4.6 dan 4.7.



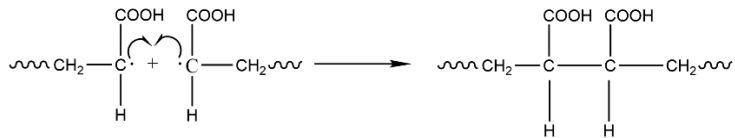
Gambar 4.6 Mekanisme Reaksi Tahap Propagasi Asam
Akrilat dengan Asam Itakonat



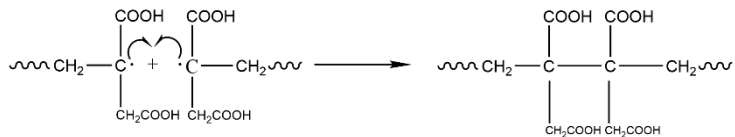
Gambar 4.7 Mekanisme Reaksi Tahap Propagasi Asam
Itakonat dengan Asam Akrilat

Tahap terakhir dalam proses polimerisasi adalah tahap terminasi. Tahap terminasi melibatkan dua rantai polimer yang sedang tumbuh. Terdapat dua mekanisme terminasi untuk polimerisasi radikal, yaitu secara kombinasi dan disproporsionasi. Jika yang terjadi adalah terminasi

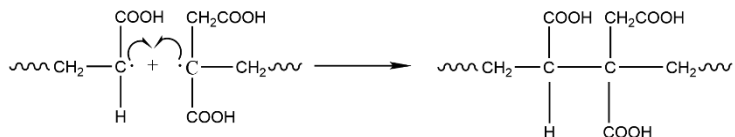
mekanisme kombinasi, maka dua rantai polimer yang sedang tumbuh akan memasangkan masing-masing radikalnya sehingga terbentuk ikatan σ (sigma) dan rantai polimer akan berhenti tumbuh. Mekanisme tahap terminasi dengan cara kombinasi terdapat pada Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10.



Gambar 4.8 Mekanisme reaksi tahap terminasi kombinasi untuk asam akrilat dengan asam akrilat

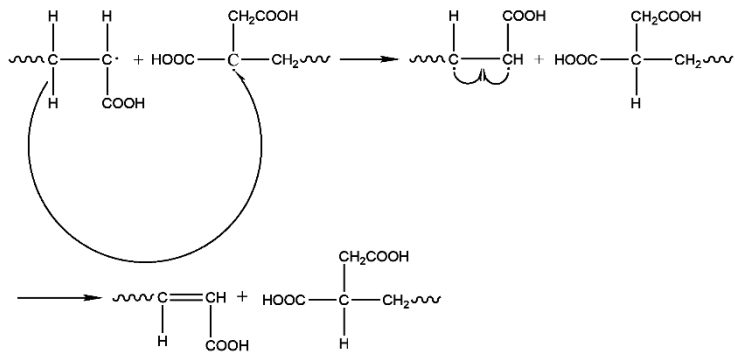


Gambar 4.9 Mekanisme reaksi tahap terminasi kombinasi untuk asam itakonat dengan asam itakonat

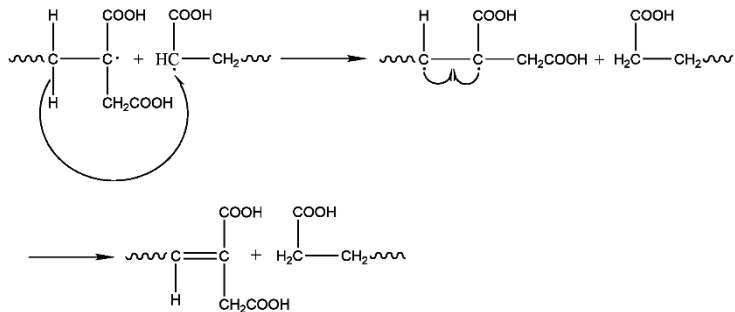


Gambar 4.10 Mekanisme reaksi tahap terminasi kombinasi untuk asam akrilat dengan asam itakonat

Tahap terminasi mekanisme disproporsionasi mungkin juga akan terjadi dalam suatu proses polimerisasi. Jika terjadi terminasi mekanisme disproporsionasi, maka akan terjadi proses transfer atom hidrogen. Atom hidrogen pada salah satu rantai akan terikat pada radikal rantai lainnya dan menyebabkan rantai yang mendonorkan atom hidrogen memiliki dua radikal. Kedua radikal ini akan membentuk ikatan σ (sigma) dan kedua rantai polimer tersebut akan berhenti tumbuh. Mekanisme reaksi tahap terminasi disproporsionasi terdapat pada Gambar 4.11 dan 4.12.



Gambar 4.11 Mekanisme reaksi tahap terminasi disproporsionasi untuk ikatan rangkap di asam akrilat

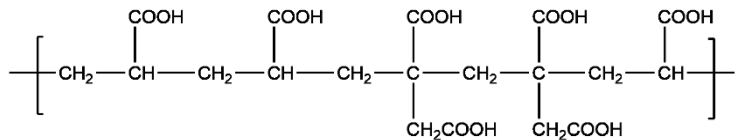


Gambar 4.12 Mekanisme reaksi tahap terminasi
disproporsionasi untuk ikatan rangkap di asam
itakonat

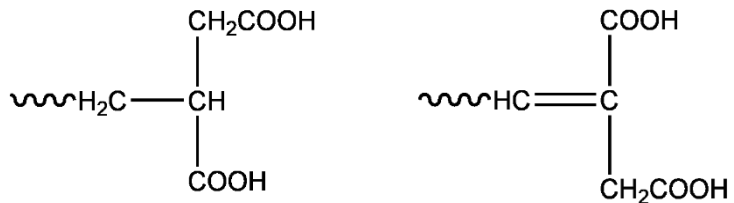
Tahap terminasi mengakhiri proses polimerisasi untuk kedua rantai yang terlibat. Tahap ini bukan menyalahi aturan polimerisasi adisi bahwa antar rantai tumbuh tidak dapat bereaksi satu sama lain. Reaksi antara dua rantai tumbuh pada tahap terminasi hanya untuk mengakhiri tahap propagasi, bukan karena tidak ada lagi monomer yang dapat bereaksi dengan rantai tumbuh (Rochmadi & Permono, 2015a).

Beragamnya kemungkinan pada tahap terminasi menyebabkan terdapat beberapa kemungkinan gugus ujung pada rantai polimer. Potensi gugus ujung pada *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* terdapat pada Gambar 4.14 dan 4.15. Selain itu, polimerisasi antara dua monomer melalui mekanisme radikal bebas akan menghasilkan jenis

kopolimer acak. Pada kopolimer acak, susunan monomer tidak ada yang teratur (Rahayu, 2020). Hal ini menyebabkan beberapa potensi posisi kedua monomer berdampingan. Potensi letak kedua monomer berdampingan terdapat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Potensi letak monomer berdampingan dalam rantai *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*



Gambar 4.14 Potensi asam itakonat sebagai gugus ujung



Gambar 4.15 Potensi asam akrilat sebagai gugus ujung

C. Karakterisasi Polimer

1. FTIR (*Fourier Transform InfraRed*)

Karakterisasi FTIR pada hasil sintesis polimer antara asam akrilat dan asam itakonat dilakukan untuk membuktikan terjadinya polimerisasi yang dibuktikan dengan perubahan bilangan gelombang antara monomer-monomer penyusunnya dengan polimer hasil sintesis. Spektra FTIR kopolimer disajikan pada Gambar 4.17 dan spektra FTIR monomer penyusun kopolimer disajikan pada Gambar 4.16.

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Gambar 4.16 Spektrum FTIR asam akrilat dan asam itakonat

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Gambar 4.17 Spektrum FTIR *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*

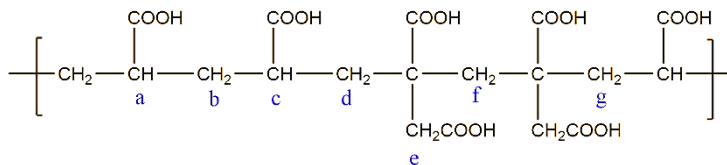
Berdasarkan Gambar 4.17 terdapat tiga jenis *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* yang dikarakterisasi, yaitu hasil sintesis dengan pelarut air berwarna hitam, pelarut aseton berwarna biru, dan pelarut isopropanol berwarna merah. Puncak serapan pada bilangan gelombang 3450-2500 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur OH yang tumpang tindih dengan vibrasi ulur -CH alifatik (Kashyap *et al.*, 2022a). Terdapat vibrasi ulur C=O yang sedikit melebar antara 1697-1703 cm^{-1} (Y. Huang *et al.*, 2002a). Terlihat vibrasi ulur C-O pada puncak serapan

sekitar 1100 cm^{-1} (Balilvand *et al.*, 2022b). Intensitas serapan vibrasi ulur C=C antara $1650\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$ mengalami penurunan akibat proses polimerisasi (Balilvand *et al.*, 2022b; Feng *et al.*, 2018).

Hasil interpretasi data spektra FTIR pada Tabel 4.2 menunjukkan kopolimer yang disintesis memiliki pola spektra yang sama. Reaksi adisi menyebabkan terjadinya perubahan rantai pada polimer sehingga terjadi perubahan bilangan gelombang pada polimer hasil sintesis. Seperti yang telah dijelaskan pada tahap sintesis kopolimer bahwa mekanisme terminasi dapat terjadi dalam 2 kemungkinan, yaitu terminasi kombinasi dan terminasi disproporsionasi. Keberadaan ikatan rangkap C=C pada polimer hasil sintesis dapat terjadi karena kemungkinan terjadinya mekanisme terminasi disproporsionasi. Hal ini menyebabkan ikatan rangkap C=C dapat tetap terdeteksi namun akan terjadi penurunan intensitas serapan dibandingkan dengan monomernya dikarenakan telah terjadi proses polimerisasi. Dengan demikian, dapat disimpulkan berdasarkan spektra FTIR telah terbentuk kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*.

Tabel 4.2 Interpretasi data spektra FTIR**Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional****2. NMR (*Nuclear Magnetic Ressonance*)**

Karakterisasi NMR dilakukan pada *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* hasil sintesis untuk melihat struktur dalam rantai polimer. Berdasarkan prediksi rantai hasil polimerisasi, terdapat beberapa spektra yang mungkin muncul dalam hasil pengujian NMR. Analisis ini dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan susunan monomer yang terdapat dalam rantai polimer. Identifikasi proton pada rantai *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* terdapat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Identifikasi proton pada rantai *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*

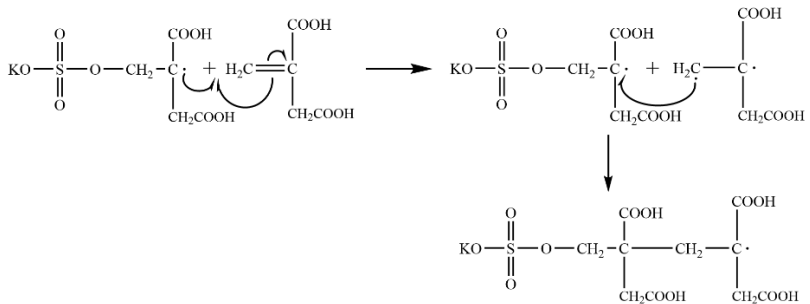
Hasil analisis spektrum $^1\text{H-NMR}$ (700 MHz, D_2O) diperoleh data pada hasil sintesis dengan pelarut air: δ_{H} 3,3563 ppm (s), 5,8166 ppm (s), dan 6,2954 ppm (s). $^1\text{H-NMR}$ (700 MHz, D_2O) pada hasil sintesis dengan pelarut aseton: δ_{H} 2,0673 ppm (*qui*, J: 2,1 Hz), 3,3382 ppm (*d*, J: 1,05 Hz), 5,7887 ppm (*d*, J: 1,33 Hz), dan 6,2662 ppm (*d*, J: 1,47 Hz). $^1\text{H-NMR}$ (700 MHz, D_2O) pada hasil sintesis dengan pelarut isopropanol: δ_{H} 2,0602 ppm (*qui*, J: 2,03 Hz), 3,3313 ppm (*d*, J: 1,26 Hz), 5,7818 ppm (*d*, J: 1,33 Hz), dan 6,2592 ppm (*d*, J: 1,54 Hz).

Hasil analisis $^1\text{H-NMR}$ pada Lampiran 6, Lampiran 7, dan Lampiran 8 menunjukkan adanya sinyal proton pada geseran kimia sekitar 1-3 ppm menunjukkan keberadaan proton CH sp^3 yang berasal dari alkana. Selain itu, sinyal pada geseran kimia sekitar 5-6 ppm menunjukkan keberadaan proton CH sp^2 dari alkena. Informasi ini dapat dipahami lebih lanjut melalui Gambar 2.12. Keberadaan proton CH sp^2 dari alkena menunjukkan bahwa proses

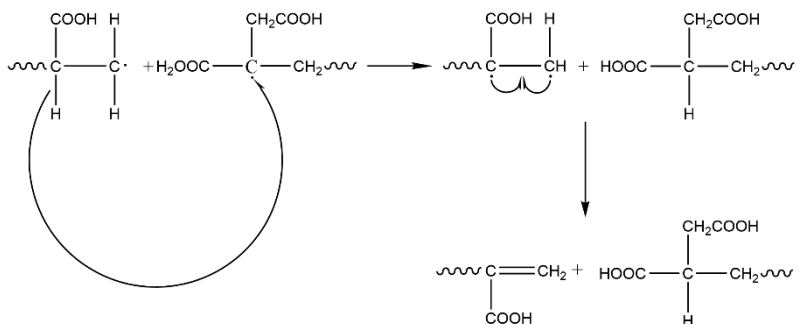
polimerisasi berakhir melalui tahap terminasi disproporsionasi.

Spektra $^1\text{H-NMR}$ hasil sintesis dari pelarut air menunjukkan adanya satu sinyal singlet milik CH sp^3 dan dua sinyal singlet milik CH sp^2 . Sinyal singlet milik CH sp^3 ini menunjukkan kemungkinan bahwa monomer yang berikatan dalam rantai ini didominasi oleh asam itakonat yang berikatan dengan asam itakonat (posisi f pada Gambar 4.18). Hal ini didukung oleh data hasil uji kelarutan di mana asam itakonat larut sempurna sedangkan asam akrilat tidak larut dalam pelarut air sehingga monomer yang bereaksi sebagian besar adalah asam itakonat. Mekanisme propagasi antar asam itakonat ditunjukkan pada Gambar 4.19. Adapun sinyal singlet milik CH sp^2 mengindikasikan terdapat gugus ujung berupa alkena milik asam akrilat berdasarkan perhitungan nilai geseran kimia pada Lampiran 12 yang menunjukkan potensi terjadinya terminasi disproporsionasi pada posisi C alfa (C_α) terhadap gugus karbonil. Sinyal yang muncul berupa singlet dapat terjadi akibat gugus ujung merupakan asam itakonat dengan jumlah satu proton. Potensi mekanisme terminasi disproporsionasi pada posisi C_α ditunjukkan pada Gambar 4.20.

Spektra ^1H -NMR hasil sintesis dari pelarut aseton dan isopropanol menunjukkan adanya masing-masing satu sinyal kwintet dan dublet milik CH sp^3 serta dua sinyal dublet CH sp^2 . Sinyal kwintet (posisi c pada Gambar 4.18) dan dublet (posisi d dan g pada Gambar 4.18) milik CH sp^3 mengindikasikan adanya asam akrilat yang berikatan dengan asam itakonat dan sebaliknya. Hal ini didukung oleh data hasil uji kelarutan di mana asam itakonat dan asam akrilat larut sempurna dalam pelarut aseton dan isopropanol sehingga kedua monomer dapat bereaksi satu sama lain pada tahap propagasi. Adapun sinyal singlet milik CH sp^2 mengindikasikan terdapat gugus ujung berupa alkena milik asam akrilat berdasarkan perhitungan nilai geseran kimia pada Lampiran 12 yang menunjukkan potensi terjadinya terminasi disproporsionasi pada posisi C alpha (C_α) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.19 Mekanisme Reaksi Tahap Propagasi Asam Itakonat dengan Asam Itakonat



Gambar 4.20 Mekanisme Reaksi Tahap Terminasi Disproporsionasi Ikatan Rangkap Pada Asam Akrilat Posisi

C_α

3. GPC (*Gel Permeation Chromatography*)

Salah satu sifat kimia yang penting untuk diketahui dari sebuah polimer adalah berat molekul. Berat molekul polimer berpengaruh pada kekuatan mekanik sebuah

polimer. Jika berat molekul suatu polimer rendah, maka sifat mekanik yang dimiliki cenderung buruk (Kabir, 2017). Pengujian berat molekul pada penelitian ini menggunakan instrumen GPC. Tujuan pengujian ini dalam penelitian adalah untuk mengetahui efek perbedaan pelarut terhadap berat molekul polimer hasil sintesis. Data hasil uji GPC terdapat pada Tabel 4.3. M_w melambangkan massa molar rata-rata terbobot, M_n melambangkan massa molar rata-rata, dan PDI merupakan nilai polidispersitas.

Tabel 4.3 Data berat molekul polimer hasil sintesis

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Nilai Polidispersitas (PDI) menggambarkan tingkat keseragaman ukuran polimer dalam suatu sampel. Semakin kecil nilai PDI, semakin konsisten ukuran polimer yang dihasilkan. Hal ini mencerminkan indikasi positif terhadap keseragaman ukuran hasil sintesis.

Pelarut air menghasilkan M_w 32.687 g/mol, M_n 9.127 g/mol, dan nilai polidispersitas 3,58. Pelarut air dapat

menghasilkan M_w dan M_n yang tinggi akibat dominannya kandungan asam itakonat dalam sampel, seperti yang telah dijelaskan pada hasil kelarutan dan karakterisasi NMR. Hal ini juga menyebabkan nilai polidispersitas hasil sintesis pada pelarut air paling kecil yang artinya ukuran rantai polimernya lebih seragam dibandingkan pelarut aseton dan isopropanol. Adapun pada pelarut aseton dan isopropanol menghasilkan masing-masing M_w 21.024 g/mol dan 25.560 g/mol, M_n 2.545 g/mol dan 3.434 g/mol, serta nilai polidispersitas 8,26 dan 7,44. Kisaran hasil kedua pelarut ini tidak berbeda jauh karena berdasarkan data hasil uji kelarutan, asam itakonat dan asam akrilat larut sempurna dalam aseton dan isopropanol sehingga kedua monomer terdapat pada rantai polimer. Pelarut aseton memiliki nilai polidispersitas yang lebih tinggi dibandingkan pelarut isopropanol. Hal ini berarti pelarut isopropanol menghasilkan rantai polimer yang lebih seragam dibandingkan aseton.

Nilai polidispersitas pada penelitian ini masih lebih besar dibandingkan dengan hasil penelitian Chang (2002) yaitu 2,00-2,03 dan Abbasi (2020) yaitu 1,51-3,25. Berdasarkan kedua penelitian tersebut, metode dan komposisi reaktan turut memengaruhi nilai polidispersitas kopolimer hasil sintesis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil sintesis kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* menunjukkan hasil positif. Hal ini diperkuat oleh hasil karakterisasi menggunakan FTIR dan $^1\text{H-NMR}$. Hasil analisis FTIR pada masing-masing pelarut menunjukkan penurunan intensitas serapan vibrasi ulur C=C pada 1623 cm^{-1} (air) serta 1629 cm^{-1} (aseton dan isopropanol) dibandingkan dengan intensitas serapan milik monomer-monomernya. Adapun spektra $^1\text{H-NMR}$ menunjukkan geseran kimia untuk proton pada hasil sintesis *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*. Hasil spektra pelarut air, aseton, dan isopropanol menunjukkan puncak-puncak pada geseran kimia sekitar 1-3 ppm yang mengindikasikan keberadaan proton CH sp^3 (alkana), sementara pada geseran kimia 5-6 ppm terindikasi keberadaan proton CH sp^2 (alkena).
2. Pelarut memiliki pengaruh signifikan terhadap berat molekul kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*. Hasil uji GPC mengindikasikan bahwa berat molekul rata-

rata kopolimer *poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* bervariasi tergantung pada jenis pelarut yang digunakan, yakni 32.687 g/mol untuk air, 21.024 g/mol untuk aseton, dan 25.560 g/mol untuk isopropanol.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan tersebut, maka penelitian terkait dapat ditambahkan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan karakterisasi lebih lanjut untuk memastikan kopolimer hasil sintesis.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai metode pencampuran antara pelarut, monomer, dan inisiator agar reaksi yang terjadi dapat mencapai efisiensi maksimal.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pencampuran pelarut berdasarkan hasil uji kelarutan untuk memastikan bahwa setiap bahan yang digunakan dapat bereaksi secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, R., Nodehi, A., & Atai, M. (2020). Synthesis of poly(acrylic-co-itaconic acid) through precipitation photopolymerization for glass-ionomer cements: Characterization and properties of the cements. *Dental Materials*, 36(6), e169–e183. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.03.006>
- Agilent. (2015). *An Introduction to Gel Permeation Chromatography and Size Exclusion Chromatography*. Agilent Technologies.
- Arkaban, H., Barani, M., Akbarizadeh, M. R., Chauhan, N. P. S., Jadoun, S., Soltani, M. D., & Zarrintaj, P. (2022). Polyacrylic Acid Nanoplatfroms: Antimicrobial, Tissue Engineering, and Cancer Theranostic Applications. In *Polymers* (Vol. 14, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym14061259>
- Bakhtiari, S. E., Bakhsheshi-Rad, S., Karbasi, H. R., Tavakoli, S., Tabrizi, M. H., Ismail, S. A., Seifalian, A. F., RamaKrishna, A., Berto, S., & Filippo. (2021). Poly(methyl methacrylate) bone cement, its rise, growth, downfall and future. In *Polymer International* (Vol. 70, Issue 9, pp. 1182–1201). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/pi.6136>
- Balilvand, R., Nodehi, A., Keyvan Rad, J., & Atai, M. (2022a). Solution photo-copolymerization of acrylic acid and itaconic acid: The effect of polymerization parameters on mechanical properties of glass ionomer cements. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 126(December 2021), 105020. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.105020>

- Balilvand, R., Nodehi, A., Keyvan Rad, J., & Atai, M. (2022b). Solution photo-copolymerization of acrylic acid and itaconic acid: The effect of polymerization parameters on mechanical properties of glass ionomer cements. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 126 (December 2021), 105020. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.105020>
- Ballard, N., De La Cal, J. C., & Asua, J. M. (2015). The role of chain transfer agent in reducing branching content in radical polymerization of Acrylates. *Macromolecules*, 48(4), 987–993. <https://doi.org/10.1021/ma502575j>
- Beuermann, S. (2009). Solvent influence on propagation kinetics in radical polymerizations studied by pulsed laser initiated polymerizations. *Macromolecular Rapid Communications*, 30(13), 1066–1088. <https://doi.org/10.1002/marc.200900131>
- Bingol, H. B., Bender, J. C. M. E., Opsteen, J. A., & Leeuwenburgh, S. C. G. (2023). Bone adhesive materials: From bench to bedside. In *Materials Today Bio* (Vol. 19). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2023.100599>
- Bitar, R., Cools, P., De Geyter, N., & Morent, R. (2018a). Acrylic acid plasma polymerization for biomedical use. *Applied Surface Science*, 448(April), 168–185. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.04.129>
- Bitar, R., Cools, P., De Geyter, N., & Morent, R. (2018b). Acrylic acid plasma polymerization for biomedical use. *Applied Surface Science*, 448(April), 168–185. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.04.129>
- Carraher, C. E., & Seymour, R. B. (Raymond B. (2003). *Polymer Chemistry*. M. Dekker.

- Çetinkaya, O., Demirci, G., & Mergo, P. (2017). Effect of the different chain transfer agents on molecular weight and optical properties of poly(methyl methacrylate). *Optical Materials*, 70, 25–30.
<https://doi.org/10.1016/j.optmat.2017.05.009>
- Chang, R. (2018). *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti*. Penerbit Erlangga.
- Coote, M. L., Davis, T. P., Klumperman, B., & Monteiro, M. J. (1998). A mechanistic perspective on solvent effects in free-radical copolymerization. *Journal of Macromolecular Science - Reviews in Macromolecular Chemistry and Physics*, 38(4), 567–593.
<https://doi.org/10.1080/15583729808546032>
- Cummings, S., Zhang, Y., Kazemi, N., Penlidis, A., & Dubé, M. A. (2016a). Determination of reactivity ratios for the copolymerization of poly(acrylic acid-co-itaconic acid). *Journal of Applied Polymer Science*, 133(40), 6–11.
<https://doi.org/10.1002/app.44014>
- Cummings, S., Zhang, Y., Kazemi, N., Penlidis, A., & Dubé, M. A. (2016b). Determination of reactivity ratios for the copolymerization of poly(acrylic acid-co-itaconic acid). *Journal of Applied Polymer Science*, 133(40), 6–11.
<https://doi.org/10.1002/app.44014>
- Dachriyanus. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK).
- Daud, S., & Said, H. (2022). Cariogenic Foods as the Cause of Dental Caries in Children. *E-GiGi*, 10(1), 38.
<https://doi.org/10.35790/eg.v10i1.37435>

- Ebewele, R. Oboigbaotor. (2000). *Polymer science and technology*. CRC Press.
- Farrar, D. F. (2012). Bone adhesives for trauma surgery: A review of challenges and developments. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 33, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2011.11.009>
- Feng, L., Yang, H., Dong, X., Lei, H., & Chen, D. (2018). pH-sensitive polymeric particles as smart carriers for rebar inhibitors delivery in alkaline condition. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(8). <https://doi.org/10.1002/app.45886>
- Furuncuoğlu, T., Uğur, I., Degirmenci, I., & Aviyente, V. (2010). Role of chain transfer agents in free radical polymerization kinetics. *Macromolecules*, 43(4), 1823–1835. <https://doi.org/10.1021/ma902803p>
- Gowariker, V. R., Viswanathan, N. V., & Sreedhar, J. (2005). *Polymer Science*. New Age International (P) Ltd.
- Guarino, V., Raucci, M. G., Ronca, A., Cirillo, V., & Ambrosio, L. (2014). Multifunctional scaffolds for bone regeneration. In *Bone Substitute Biomaterials* (pp. 95–117). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1533/9780857099037.2.95>
- Huang, C., Kobayashi, H., Moritaka, M., & Okubo, M. (2017). Hollow particles are produced by the burying of sulfate end-groups inside particles prepared by emulsion polymerization of styrene with potassium persulfate as initiator in the absence/presence of a nonionic emulsifier. *Polymer Chemistry*, 8(45), 6972–6980. <https://doi.org/10.1039/c7py01608e>
- Huang, Y., Schrick, S. R., Culbertson, B. M., & Olesik, S. V. (2002a). Synthesis of poly(acrylic acid-co-itaconic acid) in

- carbon dioxide-methanol mixtures. *Journal of Macromolecular Science - Pure and Applied Chemistry*, 39 A(1-2), 27-38. <https://doi.org/10.1081/MA-120006516>
- Huang, Y., Schricker, S. R., Culbertson, B. M., & Olesik, S. V. (2002b). Synthesis of poly(acrylic acid-co-itaconic acid) in carbon dioxide-methanol mixtures. *Journal of Macromolecular Science - Pure and Applied Chemistry*, 39 A(1-2), 27-38. <https://doi.org/10.1081/MA-120006516>
- Ito, T., Yamaguchi, S., Soga, D., Yoshimoto, T., & Koyama, Y. (2022). Preparation of a Bioadhesive Poly(Acrylic Acid)/Polyvinylpyrrolidone Complex Gel and Its Clinical Effect on Dental Hemostasis. *Gels*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/gels8080462>
- Kabir, M. (2017). *Advanced Polymer Chemistry* (First Edition). Ray Printers Ltd.
- Kashyap, P. K., Negi, Y. S., Goel, N. K., Diwan, R. K., & Rattan, S. (2022a). Chemical initiator-free synthesis of Poly (acrylic acid-co-itaconic acid) using radiation-induced polymerization for application in dental cements. *Radiation Physics and Chemistry*, 198(April), 110243. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110243>
- Kashyap, P. K., Negi, Y. S., Goel, N. K., Diwan, R. K., & Rattan, S. (2022b). Chemical initiator-free synthesis of Poly (acrylic acid-co-itaconic acid) using radiation-induced polymerization for application in dental cements. *Radiation Physics and Chemistry*, 198(April), 110243. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110243>
- Katime, I., & Rodríguez, E. (2001). Absorption of metal ions and swelling properties of poly(acrylic acid-co-itaconic acid) hydrogels. *Journal of Macromolecular Science - Pure and*

- Applied Chemistry*, 38 A(5-6), 543-558.
<https://doi.org/10.1081/MA-100103366>
- Khalil, M. I., Mostafa, K. M., & Hebeish, A. (1993). Graft polymerization of acrylamide onto maize starch using potassium persulfate as initiator. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 213(1), 43-54.
<https://doi.org/10.1002/apmc.1993.052130106>
- Khulbe, K. C., Mann, R. S., & Khulbe, C. P. (1982). Polymerization of Pyrrole By Potassium Persulfate. *Journal of Polymer Science. Part A-1, Polymer Chemistry*, 20(4), 1089-1095.
<https://doi.org/10.1002/pol.1982.170200416>
- Kianfar, S., Keshtkar, A. R., & Zarenezhad, B. (2021). Graft polymerization of acrylonitrile onto cross-linked (alginate/polyvinyl alcohol) beads initiated by potassium persulfate: synthesis and artificial neural network modeling. *Polymer Bulletin*, 78(1), 295-311.
<https://doi.org/10.1007/s00289-020-03106-6>
- Malik, Q. ul A., Iftikhar, S., Zahid, S., Safi, S. Z., Khan, A. F., Nawshad, M., Ghafoor, S., Khan, A. S., & Tufail Shah, A. (2020). Smart injectable self-setting bioceramics for dental applications. *Materials Science and Engineering C*, 113.
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110956>
- Marques, N. N., Lima, B. V., Silveira, V. R., Lima, B. L. B., Maia, A. M. S., & Balaban, R. C. (2016). PNIPAM-based graft copolymers prepared using potassium persulfate as free-radical initiator: synthesis reproducibility. *Colloid and Polymer Science*, 294(6), 981-991.
<https://doi.org/10.1007/s00396-016-3854-2>
- Marvel, C. S., & Shepherd, T. H. (1959). Polymerization Reactions of Itaconic Acid and Some of Its Derivatives. *Journal of*

- Organic Chemistry*, 24(5), 599–605.
<https://doi.org/10.1021/jo01087a006>
- Muller, P. (1994). INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY ORGANIC CHEMISTRY DIVISION COMMISSION ON PHYSICAL ORGANIC CHEMISTRY* GLOSSARY OF TERMS USED IN PHYSICAL ORGANIC CHEMISTRY. In *Pure & Appl. Chem* (Vol. 66, Issue 5).
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118.
<https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Ng, Y. H., Di Lena, F., & Chai, C. L. L. (2011). Metalloenzymatic radical polymerization using alkyl halides as initiators. *Polymer Chemistry*, 2(3), 589–594.
<https://doi.org/10.1039/c0py00139b>
- Panagiotopoulou, V. C., Santolini, E., Jones, E., Jha, A., & Giannoudis, P. V. (2022). Adhesives for treatment of bone fractures: A review of the state-of-the art. *Injury*, 53, S20–S25. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.02.019>
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. R. (2009). *Introduction to Spectroscopy* (Fourth). Cengage Learning.
- Pourjavadi, A., & Tehrani, Z. M. (2016). Mesoporous silica nanoparticles with bilayer coating of poly(acrylic acid-co-itaconic acid) and human serum albumin (HSA): A pH-sensitive carrier for gemcitabine delivery. *Materials Science and Engineering C*, 61(2016), 782–790.
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.096>
- Pramestiyani, M., Wardhani, Y., Sulung, N., & Adriani. (2022). *Anatomi Fisiologi*. PT. Global Eksekutif Teknologi.

- Prasher, A., Hu, H., Tanaka, J., Nicewicz, D. A., & You, W. (2019). Alcohol mediated degenerate chain transfer controlled cationic polymerisation of: Para -alkoxystyrene. *Polymer Chemistry*, 10(30), 4126–4133. <https://doi.org/10.1039/c9py00480g>
- Przesławski, G., Szcześniak, K., Gajewski, P., & Marcinkowska, A. (2022). Influence of Initiator Concentration on the Polymerization Course of Methacrylate Bone Cement. *Polymers*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/polym14225005>
- Putri, K. S. (2008). *Studi Optimasi Polimerisasi Metil Metakrilat: Pengaruh Variasi Konsentrasi Inisiator Amonium Persulfat, Monomer Metil Metakrilat dan Surfaktan Natrium Lauril Sulfat Terhadap Ukuran dan Distribusi Ukuran Partikel*. Universitas Indonesia.
- Rahayu, I. (2020). *Pengantar Polimer dan Modifikasinya* (A. A. Wildan, Ed.). Alqaprint Jatinangor.
- Rahman, M. (2021). *Ikatan Kimia*. Penerbit Mitra Utama.
- Rochmadi, & Permono, A. (2015a). *Mengenal Polimer dan Polimerisasi*. Gadjah Mada University Press.
- Rochmadi, & Permono, A. (2015b). *Mengenal Polimer dan Polimerisasi*. Gadjah Mada University Press.
- Rodríguez, E., & Katime, I. (2003). Some mechanical properties of poly[(acrylic acid)-co-(itaconic acid)] hydrogels. *Macromolecular Materials and Engineering*, 288(8), 607–612. <https://doi.org/10.1002/mame.200350006>
- Rodríguez-Ramos, R., Santana-Mayor, Á., Socas-Rodríguez, B., & Rodríguez-Delgado, M. Á. (2021). Recent applications of deep eutectic solvents in environmental analysis. *Applied*

Sciences (Switzerland), 11(11).
<https://doi.org/10.3390/app11114779>

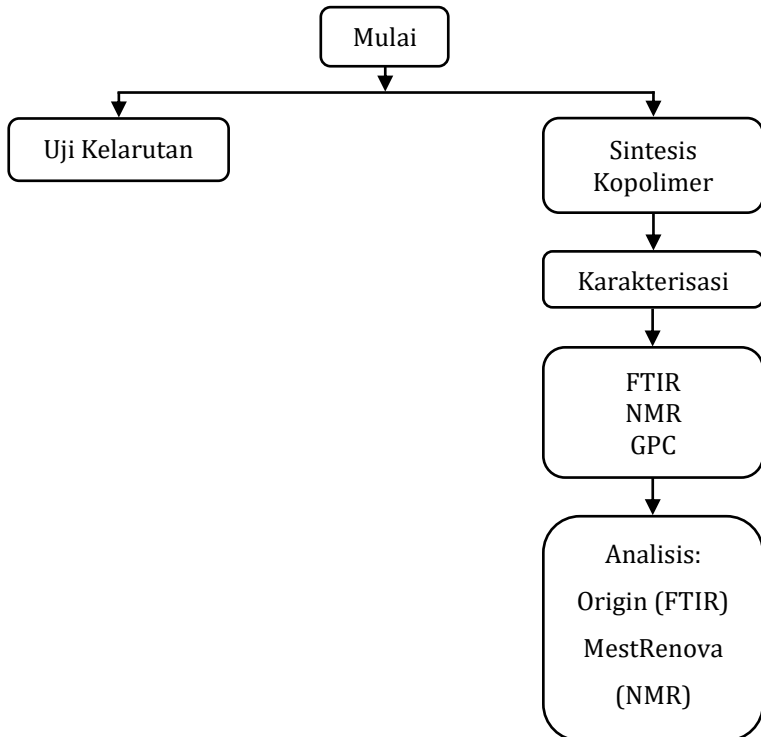
Sastrohamidjojo, H. (2001). *Spektroskoopi*. Liberty Yogyakarta.

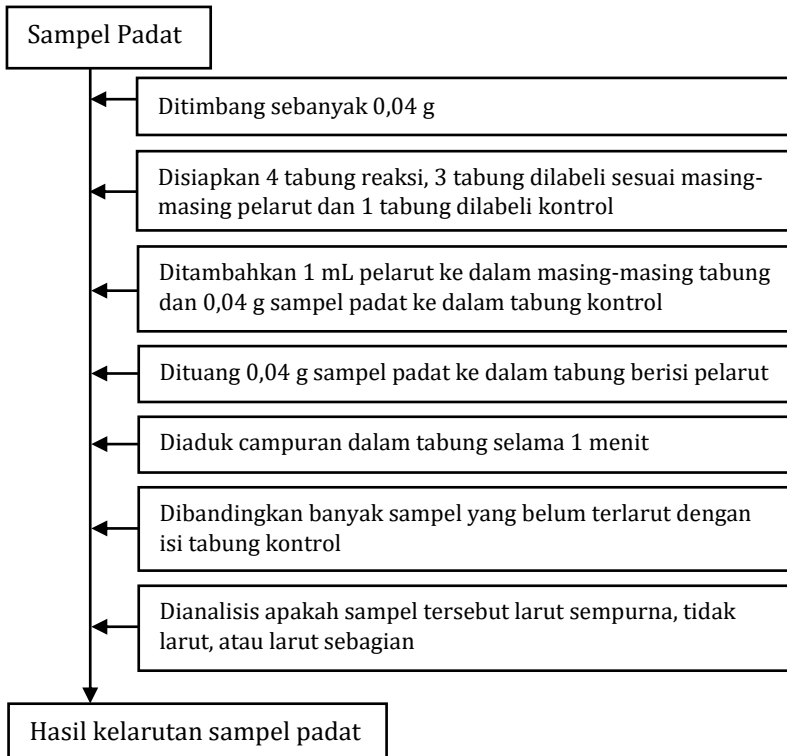
Sigma-Aldrich. (2024). *Kalium Peroksidisulfat*. Merck.
<https://www.sigmaaldrich.cn/CN/zh/product/sigald/216224>

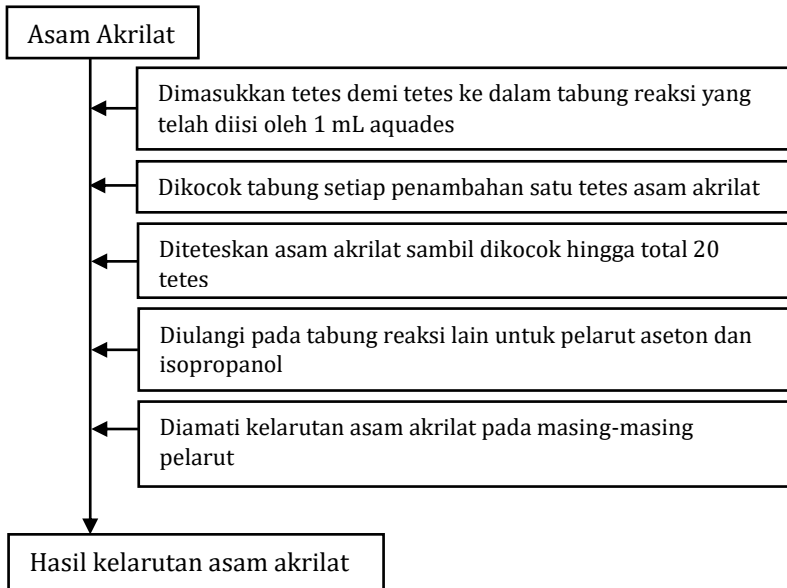
Syah, Y. M. (2014a). *NMR: Dasar-Dasar NMR dan Spektrum H-NMR*. Institut Teknologi Bandung.

Syah, Y. M. (2014b). *NMR: Dasar-Dasar NMR dan Spektrum H-NMR*. Institut Teknologi Bandung.

Trotta, J. T., Watts, A., Wong, A. R., Lapointe, A. M., Hillmyer, M. A., & Fors, B. P. (2019). Renewable Thermosets and Thermoplastics from Itaconic Acid. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(2), 2691–2701.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b05766>

LAMPIRAN**Lampiran 1** Alur Penelitian

Lampiran 2 Diagram Alir Uji Kelarutan Sampel Padat

Lampiran 3 Diagram Alir Uji Kelarutan Sampel Cair

Lampiran 4 Diagram Alir Sintesis *Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Lampiran 5 Dokumentasi Sintesis *Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)* Hasil Sintesis

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Lampiran 6 Spektrum ^1H -NMR Hasil Sintesis dengan Pelarut Air

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Lampiran 7 Spektrum ^1H -NMR Hasil Sintesis dengan Pelarut Aseton

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Lampiran 8 Spektrum ^1H -NMR Hasil Sintesis dengan Pelarut Isopropanol

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Lampiran 9 Spektrum FTIR Asam Itakonat dan Asam Akrilat

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Lampiran 10 Spektrum FTIR *Poly(acrylic acid-co-itaconic acid)*
Hasil Sintesis

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Lampiran 11 Kromatogram Hasil Uji GPC

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Lampiran 12 Perhitungan Nilai Geseran Kimia

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

Lampiran 13 Perhitungan Nilai J Kopling

Data Milik Badan Riset dan Inovasi Nasional

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

Nama Lengkap : Nadaa Haniyyah Aris Munandar
Tempat & Tgl. Lahir : Bekasi, 6 Januari 2002
Alamat Rumah : Kp. Kandang RT.005/005, Ds.
Sukaraya, Kec. Karang Bahagia,
Kab. Bekasi, Jawa Barat
HP : 0851-5501-0501
E-mail : haniyyahnadaa61@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

SDN Sukaraya 04	2008 – 2014
SMP Negeri 3 Cikarang Utara	2014 – 2017
SMA Negeri 1 Cikarang Utara	2017 – 2020
UIN Walisongo Semarang	

Semarang, 27 Maret 2024



Nadaa Haniyyah Aris Munandar
NIM. 2008036013