



TESIS-SK 142502

***Konjac Glucomannan-Agar-Gliserin Sebagai
Biopolimer Hard Capsule***

WIDIA RACHMAWATI
1416 201 015

DOSEN PEMBIMBING I
Dr. rer. nat. Fredy kurniawan, M.Si.
DOSEN PEMBIMBING II
Dr. Hendro Juwono, M.Si

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS-SK 142502

**Konjac Glucomannan-Agar-Gliserin for
Biopolimer of Hard Capsule**

WIDIA RACHMAWATI
1416 201 015

SUPERVISOR I
Dr. rer. nat. Fredy kurniawan, M.Si.
SUPERVISOR II
Dr. Hendro Juwono, M.Si

MAGISTER PROGRAM
CHEMISTRY DEPARTMENT
FACULTY OF NATURAL SCIENCES
INTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Sains (M.Si)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Widia Rachmawati

NRP. 01211650010015

Tanggal Ujian : 26 Januari 2018

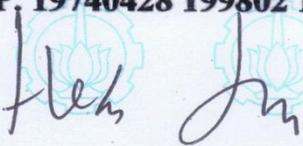
Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh :


1. Dr. rer. nat. Fredy Kurniawan, M.Si

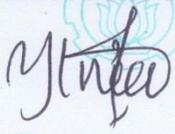
(Pembimbing I)

NIP. 19740428 199802 1 001


2. Dr. Hendro Juwono, M.Si

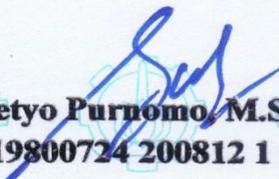
(Pembimbing II)

NIP. 19610606 198803 1 001


3. Yatim Lailun Ni'mah, M.Si., Ph.D

(Penguji)

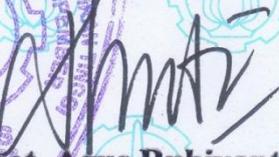
NIP. 19840524 200812 2 006


4. Adi Setyo Purnomo, M.Sc., Ph.D

(Penguji)

NIP. 19800724 200812 1 002

Dekan
Fakultas Ilmu Alam


Prof. Dr.rer.nat. Agus Rubiyanto, M.Eng.Sc.

NIP. 19650619 198903 1 001

Konjac Glucomannan-Agar-Gliserin Sebagai Biopolimer Hard Capsule

Nama Mahasiswa : Widia Rachmawati
NRP : 1416 201 015
Dosen Pembimbing I : Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si.
Dosen Pembimbing II : Dr. Hendro Juwono, M.Si

ABSTRAK

Konjac glukomannan (KGM) dari umbi porang (*Amorphophallus oncophyllus*) dikembangkan sebagai bahan baku pembuatan biopolimer *hard capsule*. Biopolimer KGM (konjac glukomannan), KGMA (konjac glukomannan – agar-agar) dan KGMAG (konjac glukomannan – agar-agar – gliserin) digunakan untuk memperoleh formulasi biopolimer *hard capsule* yang optimum. Campuran KGM 1,4% (b/v), agar – agar (0,75% b/v) dan gliserin (0.25% v/v) merupakan formulasi yang tepat untuk mendapatkan biopolimer *hard capsule* dengan sifat mekanik yang baik. Biopolimer *hard capsule* yang dihasilkan diuji sifat mekanik (*tensile strength* dan *elongation break*), uji *swelling*, degradasi biopolimer terhadap pengaruh pH (pH : 1,2 ; 4,5; dan 6,8), FTIR dan SEM. Hasil uji sifat mekanik menunjukkan biopolimer *hard capsule* memiliki *tensile strength* 42.28 Mpa dan 43.68% *elongation break*. Biopolimer *hard capsule* yang optimum memiliki kemampuan *swelling* sampai 85% dan dapat terdegradasi pada pH 1,2 (pH lambung).

Kata kunci : *konjac glukomannan, biopolimer, hard capsule, tensile strength, degradasi polimer*

Konjac Glucomannan-Agar-Gliserin for Biopolimer of Hard Capsule

Name of student : Widia Rachmawati
NRP : 1416 201 015
Supervisor I : Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si.
Supervisor II : Dr. Hendro Juwono, M.Si

ABSTRACT

Konjac glukomannan (KGM) from porang bulb (*Amorphophallus oncophyllus*) was developed as a raw material for making hard capsule biopolymer. The biopolymer of KGM (konjac glucomannan), KGMA (konjac glucomannan - agar) and KGMAg (Konjac glucomannan - agar - glycerin) were prepared to obtain optimum hard capsule biopolymer formulations. The KGM mixture of 1.4% (w / v), agar-agar (0.75% w / v) and glycerin (0.25% v / v) were the best formulation for hard capsule biopolymers with good mechanical properties. The resulting hard capsule biopolymer was evaluated the mechanical properties (tensile strength and elongation break), swelling test, biopolymer degradation to the effect of pH (pH: 1.2; 4.5 and 6.8), FTIR and SEM. The test results of its character showed that hard capsule biopolymer had tensile strength 42.28 MPa and 43.68% elongation extension. The optimum hard capsule biopolymer had swelling ability of up to 85% and could be degraded at pH 1.2 (gastric pH).

Kata kunci : konjac glukomannan, biopolimer, hard capsule, tensile strength, degradation of polymer

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas berkat dan tuntunan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah Tesis dengan judul “*Konjac Glucomannan (KGM) dari Porang (Amorphophallus oncophyllus) Sebagai Biopolimer Hard Capsule.*” Penulisan naskah tesis merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelas Magister.

Penulis menyadari bahwa semua proses yang dilakukan selama penulisan naskah tesis ini tidak terlepas dari bimbingan tangan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak dan Ibu yang telah mendukung untuk melanjutkan pendidikan S2.
2. Pengelola beasiswa unggulan DIKTI yang telah memberikan beasiswa pendidikan S2.
3. Dr. Hendro Juwono, M.Si selaku pembimbing yang membimbing penulis dalam penelitian dan penulisan naskah.
4. Dr.rer.nat. Fredy kurniawan, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan memberikan motivasi serta masukan dalam membimbing penulis selama penulisan naskah Tesis.
5. Yatim Lailun Ni'mah, M.Si, Ph.D selaku pembimbing akademik yang sudah memberikan motivasi dan banyak masukan selama penulisan naskah.
6. Adi Setyo Purnomo, M.Sc, Ph.D selaku penguji sidang proposal yang telah memberikan banyak arahan dan ilmu dalam penulisan.
7. Dr. Djoko Hartanto, M.Si selaku penguji sidang tesis yang telah memberikan banyak masukan dalam penulisan naskah.

Penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan naskah tesis pada waktu mendatang. Semoga naskah tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Hard capsule</i>	5
2.2 Konjac Glukomannan (KGM).....	7
2.2.1 Struktur Kimia Konjac Glukomannan	9
2.2.2 Karakteristik Konjac Glukomannan	10
2.3 Porang	12
2.4 Isolasi Konjac Glukomannan dari Porang.....	14
2.5 Modifikasi dan Aplikasi Konjac Glukomannan	19
2.5.1 Konjac Glukomannan Teroksidasi (OKGM)	19
2.5.2 KGM-asam akrilik dan KGM-poli(asam akrilik).....	20
2.5.3 KGM-Xantan.....	21

2.6	Polimer	21
2.6.1	Berat Molekul Polimer.....	23
2.6.2	<i>Filler</i>	25
2.6.3	<i>Plasticizer</i> pada Bio-Polimer.....	26
2.7	Karakterisasi Polimer	28
2.7.1	Penentuan Berat Molekul Polimer.....	28
2.7.2	Kuat Tarik	30
2.7.3	Swelling dan Disolusi	31
2.8	Polisakarida	32
2.9	Biopolimer.....	34
BAB 3 METODA PENELITIAN		37
3.1	Alat dan Bahan	37
3.1.1	Alat.....	37
3.1.2	Bahan	37
3.2	Prosedur Kerja	37
3.2.1	Ekstraksi Konjac Glukomannan	37
3.2.2	Analisa Tepung Konjac Glukomannan.....	38
3.2.3	Preparasi Biopolimer <i>Hard Capsule</i>	38
3.2.4	Analisis Biopolimer <i>Hard Capsule</i>	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Ekstraksi Konjac Glukomannan dari Umbi Porang (<i>Amorphophallus oncophyllus</i>)	43
4.2	Karakterisasi Konjac Glukomannan	45
4.2.1	Viskositas Konjac Glukomannan	45
4.2.2	Karakterisasi Konjac Glukomannan dengan FTIR.....	46
4.3	Pembuatan Biopolimer <i>Hard Capsule</i>	48

4.3.1 Biopolimer <i>Hard Capsule</i> Variasi Konjac Glukomannan	48
4.3.2 Biopolimer <i>Hard Capsule</i> Variasi Gliserin	50
4.3.3 Biopolimer <i>Hard Capsule</i> Variasi Agar-Agar	52
4.3.4 Biopolimer <i>Hard Capsule</i> KGM, KGMA, dan KGMAG	53
4.4 Uji tarik Biopolimer <i>Hard Capsule</i>	54
4.5 Uji Swelling.....	57
4.6 Uji Degradasi Biopolimer	58
4.7 Uji Degradasi Biopolimer pada pH 1,2.....	59
4.8 Hasil Karakterisasi Biopolimer dengan Sepktrofotometer FTIR	62
4.9 Hasil Karakterisasi Biopolimer dengan SEM	63
4.10 <i>Hard Capsule</i> KGMAG	64
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	73
BIODATA.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Hard capsule</i> OKGM DO 80% (Chen et al., 2016)	7
Gambar 2.2 Struktur konjac glukomannan (Zhang et al., 2014)	9
Gambar 2.3 Persentase komposisi porang	13
Gambar 2.4 Kurva distribusi massa molar	24
Gambar 2.5 Kurva <i>elongation break</i> dari polimer selulosa asetat dengan TEC (a) 25% dan (b) 30%	28
Gambar 2.6 Bentuk polimer yang akan diuji <i>tensile strength</i>	30
Gambar 2.7 Profil pengujian <i>tensile strength</i> polimer	31
Gambar 4.1 Umbi porang usia 3 tahun	43
Gambar 4.2 Diagram yang mengilustrasikan pemurnian tepung konjac	45
Gambar 4.3 Hasil FTIR konjac glukomannan (a) dari ekstraksi umbi porang dan (b) murni (Chen et al., 2016).....	47
Gambar 4.4 (a) Kuat tarik dan (b) <i>elongation break</i> dari biopolimer <i>hard capsule</i> dengan variasi jumlah konjac glukomannan 1; 1,2 dan 1,4% (b/v) .	49
Gambar 4.5 (a) Kuat tarik dan (b) <i>elongation break</i> dari biopolimer <i>hard capsule</i> dengan variasi variasi jumlah gliserin (0; 0,25 dan 0,5% (v/v))	51
Gambar 4.6 (a) Kuat tarik dan (b) <i>elongation break</i> dari biopolimer <i>hard capsule</i> dengan variasi variasi jumlah agar-agar (0,5; 0,75 dan 1% (b/v)) ...	53
Gambar 4.7 biopolimer <i>hard capsule</i> (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAg	54
Gambar 4.8 Kurva kuat tarik dan <i>elongation break</i> biopolimer <i>hard capsule</i> (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAg.....	56
Gambar 4.9 Derajat swelling dari biopolimer (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAg	57
Gambar 4.10 Uji degradasi biopolimer (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAg pada variasi pH (1,2 ; 4,5 dan 6,8)	59
Gambar 4.11 Pengurangan massa biopolimer (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAg dalam larutan HCl 5% (pH = 1,2) setiap 10 menit	60
Gambar 4.12 Spektra FTIR biopolimer (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAg .	62
Gambar 4.13 Struktur gliserin	63

Gambar 4.14 (a) penampang melintang dan (b) permukaan biopolimer c (konjac glukomannan – agar-agar – gliserin).....	64
Gambar 4.15 Pinbar alat pencetak <i>hard capsule</i>	65
Gambar 4.16 <i>Hard capsule</i> konjac glukomannan-agar-gliserin.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beberapa tanaman yang mengandung konjac glukomannan dan derajat polimerisasi (DP). (Tester and Al-Ghazzewi, 2013)	8
Tabel 2.2 Tanaman sejenis porang yang hidup di negara-negara Asia (Shah et al., 2015)	12
Tabel 2.3 Metode isolasi konjac glukomannan dari tepung porang dan ubi <i>Amorphophallus</i> konjac.	16
Tabel 2.4 Polimer Alami dan Sintetis (Carraher and Seymour, 2003)	22
Tabel 2.5 Jenis <i>filler</i> pada plastik	26
Tabel 2.6 <i>Plasticizer</i> untuk film dari polisakarida, protein dan lemak	27
Tabel 2.7 Polisakarida alam	34
Tabel 4.1 Viskositas konjac glukomannan 1% (b/v) dengan variasi temperatur pemanasan saat pelarutan	46
Tabel 4.2 Hasil FTIR konjac glukomannan dari porang dan konjac glukomannan murni.	48
Tabel 4.3 Kuat tarik dan <i>elongation break</i> dari biopolimer <i>hard capsule</i> dengan variasi jumlah konjac glukomannan (1; 1,2 dan 1,4% (b/v))	48
Tabel 4.4 Kuat tarik dan <i>elongation break</i> dari biopolimer <i>hard capsule</i> dengan variasi jumlah gliserin (0; 0,25 dan 0,5% (v/v))	50
Tabel 4.5 Kuat tarik dan <i>elongation break</i> dari biopolimer <i>hard capsule</i> dengan variasi jumlah agar-agar (0,5; 0,75 dan 1% (b/v))	52
Tabel 4.6 Persen Biopolimer KGM, KGMA dan KGMAG yang terdegradasi pada pH = 1,2.....	61

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak abad ke-19 *hard capsule* dikenal sebagai pembungkus, pelindung, dan pembawa obat di dalam saluran pencernaan (Zhang et al., 2013). Pada umumnya, *hard capsule* yang digunakan saat ini berbahan dasar gelatin (Barham et al., 2015). Hampir 70% kandungan *hard capsule* adalah gelatin, dan sisanya adalah material lain seperti pewarna, gliserol dan air. Pada temperatur 35°C, gel gelatin mengalami kerusakan akibat terganggunya ikatan hidrogen pada molekul gelatin. Keunikan ini menyebabkan gel gelatin mudah meleleh dalam cairan biologi dalam tubuh yang memiliki temperatur rata-rata 30°C (Duconseille et al., 2015). Pada umumnya, *hard capsule* gelatin mengandung 13-16% kadar air. *Hard capsule* gelatin akan kehilangan bentuknya yang kaku dan menjadi terdistorsi bila disimpan di lingkungan yang berkelembapan tinggi. Sebaliknya, *hard capsule* gelatin akan menjadi rapuh dan rusak bila disimpan di lingkungan yang panas dan kering.

Gelatin berasal dari jaringan dalam tubuh hewan. Sumber produksi gelatin terbanyak adalah kulit babi (46%). Selain babi, gelatin juga dapat diperoleh dari sapi (29,4%), tulang sapi (23,1%), dan ikan (1,5%). Sejauh ini, gelatin yang digunakan dalam industri makanan dan farmasi adalah gelatin sapi dan babi (Jones et al., 2012). *Hard capsule* gelatin memungkinkan akan menimbulkan masalah bagi sebagian orang karena keterkaitan dengan isu adat, agama, dan vegetarian.

Sejak abad ke 20 dan 21 muncul alternatif lain seperti pemanfaatan *hydroxypropyl methylcellulose* (HPMC) sebagai material dasar *hard capsule* (Mutalib et al., 2015). Pada tahun 2010, Tabakha menyebutkan bahwa polimer seperti HPMC (*hydroxypropyl methylcellulose*), material turunan tanaman, dapat digunakan untuk menggantikan gelatin dalam pembuatan *hard capsule*. Polimer pati adalah sumber HPMC terbesar di alam, yang dapat dimanfaatkan sebagai

material dasar dalam pembuatan *hard capsule*. Polimer pati seperti konjac glukomannan memiliki sifat *biodegradable* dan *biocompatible* (Chen et al., 2016).

Konjac glukomannan adalah jenis HPMC yang terdapat dalam umbi porang, *pinus strobes*, *tubera salep*, dan lain-lain (Tester and Al-Ghazzewi, 2013). Porang adalah tanaman tahunan *family* dari *Araceae* yang tumbuh liar di kawasan hutan jati Klamong, Saradan, Jawa Timur, Indonesia. Petani porang Indonesia menghasilkan umbi porang basah sebanyak 50.000 ton/tahun. Selama ini masyarakat Indonesia memanfaatkan porang sebagai komoditas ekspor, yang diekspor ke negara Jepang, Cina dan Vietnam (Yanuriati et al., 2017). Masyarakat Cina dan Jepang memanfaatkan konjac glukomannan (hasil pemurnian dari umbi porang) sebagai pengemulsi dalam industri makanan seperti sirup, mie, dan plastik pembungkus makanan yang dapat dimakan (*edible film*). Pada tahun 2016, Y.Chen et al menyatakan bahwa konjac glukomannan tidak dapat dimanfaatkan secara langsung dalam pembuatan *edible film*, karena kelarutannya yang tinggi dalam air dan tidak dapat membentuk gel. (Behera and Ray, 2016).

Pada tahun 2008, Ho J. Bae berhasil membuat biopolimer *hard capsule* dari tepung HPMC (55 gram), k-karagenan (0,2 gram) dan gliserol (0,25 gram). Biopolimer *hard capsule* HPMC memiliki sifat mekanik seperti kuat tarik 19,9 MPa dan 13,8 % perpanjangan (*elongation break*) (Bae et al., 2008). Penambahan hidrokoloid lain sebagai agen *gelling* seperti karagenan, xantan gum, agar-agar, dan pektin memberikan efek sinergis pada gel dan biopolimer konjac glukomannan yang terbentuk. Formulasi yang tepat antara konjac glukomannan dan hidrokoloid lain dapat mempengaruhi bentuk dan sifat mekanik biopolimer *hard capsule* yang terbentuk (Farrin, 2005). Namun karena ketersediaan pure k-karagenan di Indonesia yang terbatas, menyebabkan perlu dilakukan penelitian tentang penggunaan hidrokoloid lain (agar-agar, xantan gum atau pektin) sebagai agen *gelling* dalam proses pembuatan biopolimer *hard capsule*. Agar-agar adalah polisakarida yang terdiri dari dua jenis polisakarida (agarosa dan agaropektin). Agar-agar diperoleh dari dinding sel spesies alga merah (*Gelidium* dan *Gracilaria*). Pada umumnya, agar-agar dimanfaatkan sebagai *thickener*, agen *gelling*, dan pengemulsi. Agar-agar memiliki keunggulan seperti mudah diperoleh dan relatif murah (Verbeek, 2012).

Dalam penelitian ini, biopolimer *hard capsule* dibuat dari modifikasi antara konjac glukomannan yang telah diekstraksi dari umbi porang, agar-agar komersial, dan gliserin. Konjac glukomannan hasil ekstraksi akan diukur viskositas dan dikarakterisasi dengan FTIR. Biopolimer *hard capsule* yang terbentuk akan dianalisa melalui uji *swelling*, degradasi polimer, kuat tarik, morfologi permukaan dengan SEM, dan gugus fungsi melalui FTIR.

1.2 Rumusan Masalah

Konjac glucomannan adalah material HPMC (*hydroxypropyl methylcellulose*) yang terdapat dalam umbi porang. Setiap tahun, petani porang di Indonesia mampu mengekspor 50.000 ton umbi porang basah ke negara Cina, Jepang dan Vietnam (Yanuriati et al., 2017). Masyarakat Cina dan Jepang memanfaatkan konjac glukomannan (hasil pemurnian dari umbi porang) sebagai pengemulsi dalam industri mie, sirup, *edible film* dan *hard capsule* (Behera and Ray, 2016). Pada tahun 2008, Ho J. Bae berhasil membuat biopolimer *hard capsule* dari tepung HPMC (55 gram), k-karagenan (0,2 gram) dan gliserol (0,25 gram). Biopolimer *hard capsule mungbean* memiliki sifat mekanik seperti kuat tarik 19,9 MPa dan 13,8 % perpanjangan (elongation break) (Bae et al., 2008). Penambahan hidrokoloid lain sebagai agen *gelling* seperti k-karagenan, xantan gum, agar-agar, dan pektin memberikan efek sinergis pada gel dan biopolimer konjac glukomannan yang terbentuk. Formulasi yang tepat antara konjac glukomannan dan hidrokoloid lain dapat mempengaruhi bentuk dan sifat mekanik biopolimer *hard capsule* yang terbentuk (Farrin, 2005). Namun karena ketersediaan pure k-karagenan di Indonesia yang terbatas, menyebabkan perlu dilakukan penelitian tentang penggunaan hidrokoloid lain (agar-agar) sebagai agen *gelling* dalam proses pembuatan biopolimer *hard capsule*. Agar-agar merupakan polisakarida (agarosa dan agaropektin) yang dapat berperan sebagai agen *gelling*. Agar-agar memiliki keunggulan seperti mudah diperoleh dan harganya relatif murah (Verbeek, 2012).

Dalam penelitian ini dilakukan modifikasi konjac glukomannan – agar-agar – gliserin untuk membuat biopolimer *hard capsule*. Biopolimer *hard capsule*

yang terbentuk akan dianalisa melalui uji swelling, degradasi polimer, kuat tarik, morfologi permukaan dengan SEM, dan gugus fungsi melalui FTIR.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan formula yang tepat untuk membuat biopolimer *hard capsule* dari konjac glukomannan termodifikasi agar-agar dan gliserin.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan inovasi dalam pembuatan biopolimer *hard capsule* dari konjac glukomannan termodifikasi agar-agar dan gliserin.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Hard capsule*

Hard capsule adalah bagian penting dalam bidang farmasi yang memiliki banyak keuntungan seperti pelindung dan pembungkus obat (Chen et al., 2016). Gelatin adalah material berbasis makanan yang digunakan untuk pembuatan *hard capsule* di industri farmasi sejak abad ke 19 (Zhang et al., 2013). *Hard capsule* mampu meleleh di dalam air pada temperatur 30°C. Selain itu *hard capsule* juga mudah terdegradasi karena kondisi pH asam (pH lambung) dan pengaruh enzim. Berdasarkan standar spesifikasi yang dikeluarkan oleh *United States Pharmacopeia 711, the European Pharmacopoeia dan the Japanese pharmacopeia*, *hard capsule* dapat dijual di pasar bila dapat larut di dalam air. Hasil pengujian kelarutan di dalam air menunjukkan bahwa *hard capsule* gelatin dapat larut di dalam air, tetapi kecepatan kelarutannya tinggi. Isu ini telah diketahui sejak tahun 1974 dan mulai banyak publikasi yang membahas tentang aplikasi gelatin sebagai *hard capsule* dan kelarutannya di dalam air. *Hard capsule* gelatin akan kehilangan bentuknya yang kaku dan menjadi terdistorsi bila disimpan di lingkungan yang berkelembapan tinggi. Sebaliknya, *hard capsule* gelatin akan menjadi rapuh dan rusak bila disimpan di lingkungan yang panas dan kering (Duconseille et al., 2015).

Kualitas *hard capsule* ditentukan berdasarkan parameter-parameter seperti sifat mekanik, kelarutan dalam cairan biologis tubuh dan kereaktifan *hard capsule* terhadap obat-batan. Sifat mekanik merupakan parameter yang penting dalam penentuan kualitas *hard capsule*. Hal ini berhubungan dengan proses pengisian obat ke dalam *hard capsule* dan ketahanannya dalam melindungi obat. *Hard capsule* yang rapuh (nilai kuat tarik dan *elongation break* rendah) akan menyebabkan sediaan obat tumpah dari *hard capsule*. Parameter kelarutan *hard capsule* dalam cairan biologis tubuh (mulut, kerongkongan, lambung atau usus) tergantung pada komposisi penyusun *hard capsule*. *Hard capsule* dari HPMC – karagenan lebih mudah larut dalam larutan pH 1,2 (suasana lambung) daripada

dalam air (mulut). *Hard capsule* dari gelatin mudah larut dalam air. Parameter lain untuk menentukan kualitas *hard capsule* adalah kereaktifan *hard capsule* terhadap obat-obat. Kereaktifan *hard capsule* tergantung pada bahan-bahan dalam pembuatan *hard capsule*. *Hard capsule* yang baik adalah *hard capsule* yang tidak bereaksi dengan obat-obat. Kemampuan bereaksi antara obat dan *hard capsule* ditentukan berdasarkan struktur kimia dari obat dan bahan-bahan penyusun *hard capsule*.

Sebuah alternatif untuk menggantikan gelatin dalam produksi *hard capsule* adalah dengan polimer lain seperti HPMC (*hydroxypropyl methylcellulose*) (Barham et al., 2015). *Hard capsule* HPMC komersial pertama kali diproduksi pada tahun 1980. HPMC dapat dilarutkan di dalam air dingin. Proses *gelling* HPMC terjadi ketika temperaturnya naik (di atas 70°C) (Zhang et al., 2013). HPMC, material turunan tanaman yang siap digunakan untuk menggantikan gelatin di dalam *hard capsule*. *Hard capsule* HPMC memiliki kadar air rendah dan memungkinkan tidak mudah hancur saat kelembaban lingkungannya rendah. *Hard capsule* HPMC bersifat stabil dan tidak bereaksi dengan obat. Tidak seperti gel yang terbentuk dari gelatin, HPMC membentuk gel karena interaksi hidrofobik pada temperatur tinggi. *Hard capsule* HPMC memiliki luas area gap (132,14µm) dua kali lebih besar daripada gelatin (66,86µm). Luasnya area gap dari *hard capsule* HPMC memungkinkan terjadinya kebocoran obat (Chen et al., 2016).

Polimer pati, sumber terbesar polimer alam pada tumbuhan, juga dapat digunakan sebagai material *hard capsule*. Polimer pati memiliki kelebihan seperti harga rendah dan pembentuk lapisan film tipis yang baik. Pati tidak dapat membentuk gel sendiri. Proses *gelling* pati dapat terjadi bila pati dicampur dengan agen *gelling*. Pada tahun 2013, Zhang et.al melaporkan preparasi *hard capsule* pati dengan pencampuran pati *hydroxypropyl*, *hydroxypropyl methylcellulose* dan karagenan. Bae et al (2008) mengembangkan *hard capsule* pati dengan penambahan k-karagenan dan i-karagenan untuk pembentukan gel. Dengan penambahan agen *gelling* dan *plasticizier*, *hard capsule* pati bersifat lebih lunak daripada *hard capsule* gelatin (Chen et al., 2016).



Gambar 2.1 *Hard capsule* OKGM DO 80% (Chen et al., 2016)

Yuying Chen, et.al (2016) memanfaatkan *TEMPO-oxidized* konjac glukomannan (OKGM) 80% DO sebagai *hard capsule* seperti pada gambar 2.1. OKGM DO 80% merupakan konjac glukomannan yang telah teroksidasi dengan derajat oksidasi 80%. Berdasarkan pengujian profil kelarutan obat secara *in vitro*, *hard capsule* OKGM DO 80% membutuhkan waktu sekitar 5-10 menit untuk larut di dalam air dan waktu yang dibutuhkan untuk keluarnya obat dari *hard capsule* ini adalah 30-45 menit. Sehingga *hard capsule* DO 80% terqualifikasi untuk digunakan sebagai *hard capsule* yang larut di dalam lambung (Chen et al., 2016).

2.2 Konjac Glukomannan (KGM)

Definisi konjac glukomannan menurut *European Commission regulation* (EU) No. 231 / 2012 adalah polisakarida alam larut air (Behera and Ray, 2016), yang diisolasi dari tepung konjac (*konjac flour*) dengan air-etanol sebagai pelarut, sedangkan *konjac flour* adalah produk mentah dari umbi *Amorphophallus konjac* (tanaman tahunan *family Araceae*) (Behera and Ray, 2016) yang telah melalui proses pengolahan seperti pencucian, pencacahan, pengeringan dan penggilingan (Chen et al., 2016). Konjac glukomannan tidak hanya diisolasi dari umbi porang, tetapi juga dapat diperoleh dari tanaman lain seperti pada Tabel 2.1 dengan rasio mannose dan glukosa yang berbeda-beda. Rasio mannose dan glukosa dalam konjac glukomannan tergantung pada kemurnian dari konjac glukomannan. Pada

umumnya rasio mannose dan glukosa dalam konjac glukomannan pada range 1,5 : 1 sampai 4,2 : 1 (Tester and Al-Ghazzewi, 2013).

Tabel 2.1 Beberapa tanaman yang mengandung konjac glukomannan dan derajat polimerisasi (DP). (Tester and Al-Ghazzewi, 2013)

Tanaman	Mannosa : glukosa	Derajat polimerisasi
<i>Pinus strobes</i>	3,8 : 1	90
<i>Lycoris radiata</i>	4,0 : 1	730
<i>Amorphophallus konjac</i>	1,6 : 1	6200
<i>Lilium auratum</i>	2,7 : 1	220
<i>Tubera salep</i>	3,2 : 1	600
<i>Boehmeria nivea</i>	1,8 : 1	10.800
<i>Sequois sempervirens</i>	4,2 : 1	60
<i>Narcissus tazetta</i>	1,5 : 1	-

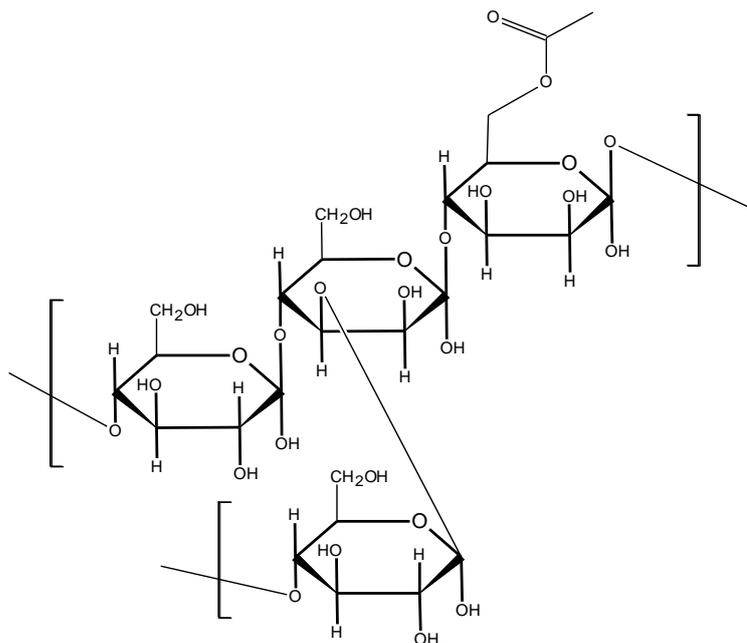
Tepung konjac glukomannan sering digunakan di industri makanan, farmasi dan polimer. Tingkat kemurnian tepung konjac glukomannan mempengaruhi nilai ekonomis konjac glukomannan. Semakin besar nilai kemurnian konjac glukomannan maka semakin tinggi nilai ekonomisnya. Konjac glukomannan yang mengandung sedikit pati, protein dan lipid, memiliki nilai kemurnian yang tinggi. Kemurnian konjac glukomannan tergantung pada proses pemurnian.. Berdasarkan standar professional masyarakat China, dalam tepung konjac terdapat 85% konjac glukomannan. Umumnya konjac glukomannan dalam tepung konjac dimurnikan melalui pencucian dengan akohol (Tester and Al-Ghazzewi, 2016).

Konjac glukomannan merupakan makanan berserat yang rendah kalori, salah satu keuntungannya adalah menjadi bahan makanan yang dapat membantu penurunan kolestrol,dan pengurangan berat badan (Behera and Ray, 2016). Selain memberikan keuntungan di bidang kesehatan, konjac glukomannan juga memiliki aplikasi yang luas dalam bidang industri makanan, khususnya sebagai bahan aditif makanan untuk pengental, penstabil, dan pengemulsi (Shah et al., 2015).

2.2.1 Struktur Kimia Konjac Glukomannan

Konjac glukomannan, polisakarida non-ionik (Yanuriati et al., 2017) yang tersusun dari β -1,4 D-mannosa (Li et al., 2014) dan D-glukosa residu (Wang et al., 2015) dengan rasio 1,6 : 1 atau 1,4 : 1 (Zhang et al., 2014), terikat oleh ikatan β -1,4 glikosidik (Liu et al., 2016) dan rantai yang lebih pendek terikat oleh ikatan β -1,3 glikosidik (Tester and Al-Ghazzewi, 2013).

Rasio mannose dan glukosa dalam konjac glukomannan tergantung pada sumber konjac glukomannan (KGM) dan kemurniannya (Behera and Ray, 2016). Berdasarkan struktur konjac glukomannan (Gambar 2.2), konjac glukomannan mengandung 5-10% gugus asetil (Behera and Ray, 2016) yang mempengaruhi kelarutan konjac glukomannan dalam air (Wang et al., 2015), terletak secara acak, dengan rasio 1 gugus asetil per 9 sampai 19 unit gula residu (mannose dan glukosa) pada C-6 (Zhang et al., 2014).



Gambar 2.2 Struktur konjac glukomannan (Zhang et al., 2014)

Pada umumnya, rata-rata range berat molekul KGM adalah 500.000-2.000.000 Da (Marcano et al., 2015). Perbedaan berat molekul KGM tergantung pada jenis sumber, proses pemurnian dan jangka penyimpanan KGM. Berat molekul KGM diukur dengan spektrum GPC dan distribusi massa molekul

ditemukan sekitar distribusi normal dengan polidispersi ($M_w / M_n = 1,21$), yang mengindikasikan KGM adalah polisakarida homogen (Zhang et al., 2014).

2.2.2 Karakteristik Konjac Glukomannan

2.2.2.1 Kemampuan larut dalam air dan absorpsi air

Konjac glukomannan (KGM) adalah polisakarida larut air yang banyak mengandung gugus hidroksil dan karbonil pada sepanjang rantai molekulnya. Ikatan hidrogen mempunyai pengaruh terhadap kelarutan dalam air, semakin kuat ikatan hidrogen antar molekulnya, semakin sulit untuk larut dalam air (Zhang et al., 2014). Keberadaan gugus asetil dalam molekul KGM mempengaruhi kelarutan KGM dalam air. Kelarutan air dari KGM menurun dengan meningkatnya deasetilasi gugus asetil dalam molekul KGM (Behera and Ray, 2016).

Molekul KGM sangat hidrofilik dan memiliki kelarutan yang rendah dalam air jika tanpa pemanasan. Faktor lain yang mempengaruhi kelarutan KGM dalam air adalah molekul dipole, dipole terinduksi dan dipole sementara dari molekul KGM. Pada tahun 2001, Koroskenyi melaporkan bahwa molekul KGM memiliki kemampuan absorpsi yang tinggi, sekitar 105,4 g/g (KGM/air), dengan kandungan asetil dalam molekul KGM adalah 1,0 g/g. Derajat asetil dalam KGM mempengaruhi ikatan antara KGM dan air. Sampai saat ini, KGM dengan kemurnian 100% belum pernah diperoleh, sehingga nilai kelarutan KGM dalam air tidak dapat dipastikan (Zhang et al., 2014).

Kecepatan absorpsi yang tinggi menyebabkan KGM diaplikasikan dalam bidang farmasi dan obat-obatan, seperti obat diare yang mampu menyerap kelebihan air di dalam saluran pencernaan. Selain itu, umumnya KGM juga diaplikasikan sebagai penutup luka yang mampu menghentikan pendarahan. Kecepatan absorpsi dari KGM dapat diubah melalui proses modifikasi. Contohnya, pada tahun 2012, Li et. al menciptakan superabsorbent KGM-asam akrilik-kaolin dengan tingkat penyerapan 1941 g/g (KGM/air) melalui proses polimerisasi. Penurunan kecepatan absorpsi KGM juga dapat diturunkan melalui proses deasetilasi (Zhang et al., 2014).

2.2.2.2 Viskositas dan Pembentukan Gel

Tahun 2012, Wang Xu menyatakan bahwa konsentrasi KGM di bawah 0,55 %, hidrosol berperilaku sebagai cairan. Sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi, tetapi di bawah 7% atau 8% (data bervariasi sesuai dengan spesies konjac), larutan KGM akan menjadi sol dan menunjukkan karakteristik dari cairan pseudoplastik. Ketika konsentrasi KGM terus meningkat, menjadi lebih dari 7% atau 8% (berbeda dengan spesies konjac), maka akan membentuk gel, menunjukkan karakteristik cairan bingham.

Larutan KGM merupakan larutan polisakarida yang memiliki viskositas tertinggi di antara polisakarida lainnya. KGM dapat menyerap air dan membengkak. Proses pembengkakan atau gelatinisasi dari KGM dapat dipercepat melalui dua cara yaitu

1. Aglomerasi fisik, pemanasan dan pengadukan dapat mempercepat proses pembentukan gel dari larutan KGM. KGM juga dapat membentuk gel yang sinergis dengan polisakarida jenis lain, seperti xanthan dan k-karagenan. Efek sinergis disebabkan karena interaksi antar molekul.
2. Proses kimia, dalam lingkungan basa, KGM akan mengalami proses kimia untuk pembentukan gel. Beberapa peneliti membuktikan bahwa gel KGM terbentuk karena molekul KGM kehilangan gugus asetil. Gel KGM yang terbentuk melalui proses kimia biasanya memiliki stabilitas yang baik dan *thermo-irreversible*. Range pH yang optimal untuk pembentukan gel KGM adalah 11,3-12,6 (range pH tergantung pada berat molekul KGM). Kondisi pH yang ideal berpengaruh pada hilangnya gugus asetil dari molekul KGM.

NaOH, KOH, Ca(OH)₂, Na₂CO₃, K₂CO₃ adalah alkali yang biasanya digunakan untuk memicu gelatinisasi. KOH memiliki efek deasetilasi terkuat diantara alkali tersebut. Hal ini dapat diketahui melalui peningkatan DD (derajat deasetilasi) dan penurunan kelarutan KGM dalam air. Hal ini terjadi karena proses deasetilasi, yang dapat menyebabkan interaksi hidrofiliknya melemah. KGM menjadi material yang berpotensi untuk mengontrol dan mengendalikan emulsi dalam industri makanan dan obat-obatan (Zhang et al., 2014).

2.3 Porang

Porang (*Amorphophallus oncophyllus*) adalah tanaman tahunan dari keluarga Araceae yang tumbuh liar di kawasan hutan jati Klangon, Saradan, Jawa Timur, Indonesia (Harmayani et al., 2014). Selain di Indonesia, tanaman sejenis porang juga tumbuh di negara-negara Asia, seperti yang tertera pada Tabel 2.2 (An et al., 2010). Tanaman ini tumbuh baik di hutan tropis dengan lingkungan rindang, tanah humus pH 6,5-7,5 dan temperatur optimalnya pada range 20-25°C (Chua et al., 2010).

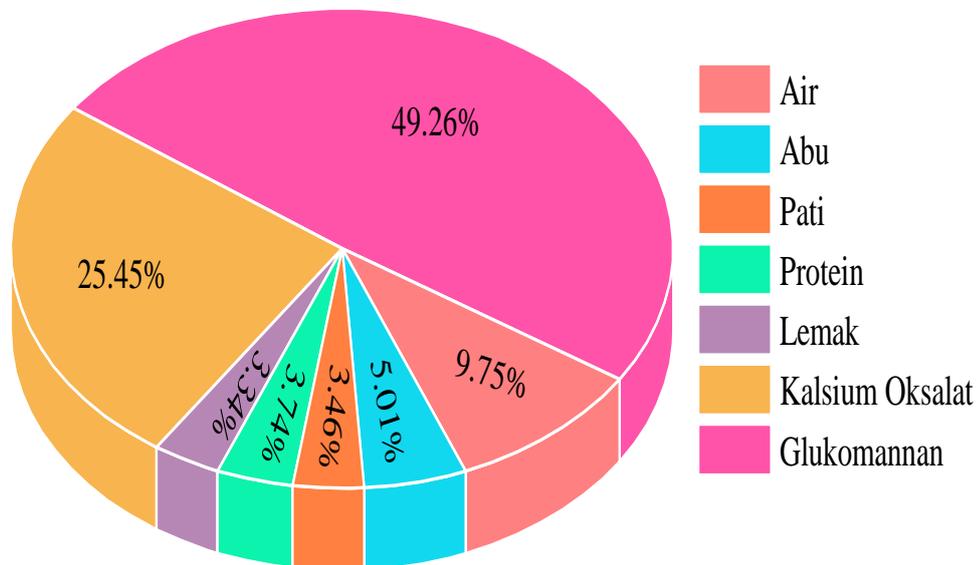
Tabel 2.2 Tanaman sejenis porang yang hidup di negara-negara Asia (Shah et al., 2015)

Species	Lokasi	Konjac glukomannan	Pati	Gula terlarut
<i>A. Konjac</i>	Sichuan	58.8	12.3	2.9
	Guizhou	58.3	12.7	2.7
	Yunnan	54.4	16.2	3.8
	Hubei	54.6	17.3	3.2
	Guangxi	55.1	14.1	3.4
	Jiangxi	52.2	19.8	2.9
	Fujian	52.1	20.1	3.5
<i>A. albus</i>	Sichuan	59.3	11.5	1.5
<i>A. yuloensis</i>	Yunnan	33.7	38.8	5.5
<i>A. kachiensi</i>	Yunnan	39.8	46.1	8.3
<i>A. krausei</i>	Yunnan	28.5	21.0	7.6

Porang yang berusia 3 tahun memiliki umbi yang berbentuk bulat dengan diameter sekitar 30 cm. Kandungan konjac glukomannan dalam umbi porang menyebabkan tanaman ini banyak dimanfaatkan sebagai sumber makanan dan obat-obatan. Butiran konjac glukomannan terdapat di dalam idioblasts yang tersebar di seluruh bagian umbi porang. Pati, selulosa, protein, lemak dan kalsium oksalat terletak di dalam *ordinary cell* (diameter 0,004 mm) yang mengelilingi idioblasts (diameter 0,25-0,75 mm). Butiran konjac glukomannan dalam idioblasts

menyebabkan ukuran idioblasts 5-10 kali lebih besar daripada *ordinary cell*. Ukuran partikel konjac glukomannan lebih besar daripada pengotor (Yanuriati et al., 2017).

Konjac glukomannan dapat diisolasi dari spesies lain dari genus *Amorphophallus*. Tanaman *konjac* K., merupakan salah satu tanaman yang memiliki karakteristik yang sama dengan porang. Tanaman ini banyak tumbuh di daerah pegunungan Cina. Lebih dari 2000 tahun, masyarakat Cina memanfaatkannya sebagai obat hernia, batuk, asma dan penyakit kulit. Tepung konjac, hasil olahan dari tanaman *konjac* K. juga dikonsumsi sebagai bahan makanan seperti mie, tofu dan makanan ringan (Chua et al., 2010).



Gambar 2.3 Persentase komposisi porang

Petani porang di Indonesia mengekspor umbi porang dalam jumlah besar ke negara Cina dan Jepang (Yanuriati et al., 2017). Kandungan konjac glukomannan yang tinggi dalam tepung porang menyebabkan Cina, Jepang dan Vietnam mengimpor tepung porang untuk dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam industri makanan, seperti pengental sirup, *jelly*, *edible film*, mie dan pengikat sosis (Harmayani et al., 2014). Sejak tahun 1994, konjac glukomannan (KGM) telah disetujui sebagai bahan aditif makanan oleh *U.S. Food and Drug Administration* (FDA). Setiap tahun, perkembangan aplikasi KGM semakin

meningkat. Pada tahun 1996, U.S. *Department of Agricultural* (USDA) menyatakan bahwa KGM dapat digunakan sebagai pembungkus daging, pakan ternak (Chua et al., 2010).

Tepung porang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung, karena mengandung pengotor konjac glukomannan dalam tepung porang (gambar 2.3) yang menyebabkan kualitasnya menurun, seperti viskositas rendah, transparansi rendah dan berbau amis (Xu et al., 2014). Pati adalah pengotor utama yang meningkatkan kekeruhan dan menurunkan viskositas dari konjac glukomannan. Selain itu, kandungan kalsium oksalat yang tinggi, menyebabkan tepung porang tidak dapat dikonsumsi secara langsung (Yanuriati et al., 2017), sehingga sebelum diekspor, umbi porang harus diolah menjadi konjac glukomannan (Harmayani et al., 2014).

Pengolahan tepung porang menjadi konjac glukomannan melalui proses pemurnian dengan cara ekstraksi tepung porang dengan air-etanol (Chen et al., 2016). Konjac gluomannan tidak dapat larut di dalam etanol, tetapi memiliki kelarutan yang tinggi dalam air. Komponen selain KGM (gambar 2.2) terutama pati memiliki kelarutan yang tinggi di dalam etanol (Xu et al., 2014). Sehingga pada tahun 2016, Anny Yanuarti menyatakan bahwa proses pemurnian konjac gluomannan efektif dilakukan melalui ekstraksi berulang tepung porang dengan etanol 50%. Proses pemurnian tersebut menghasilkan konjac glukomannan dengan kemurnian 90.98% (Yanuriati et al., 2017).

2.4 Isolasi Konjac Glukomannan dari Porang

Kemurnian konjac glukomannan berpengaruh pada nilai ekonominya. Semakin tinggi nilai kemurnian konjac glukomannan, maka semakin tinggi nilai ekonominya. Konjac glukomannan banyak terkandung dalam tanaman *family* Araceae spesies lain (Tabel 2.1) dan tanaman dari *family* lain (Tabel 2.2). Konjac glukomannan dapat diisolasi dari tepung konjac atau umbi konjac. Beberapa peneliti dari Indonesia telah melakukan studi tentang isolasi konjac glukomannan dari umbi porang (umbi dari tanaman porang yang mengandung 49,26% konjac glukomannan dan sisanya adalah pengotor).

Pengotor dalam tepung konjac (pati, kalsium oksalat, protein, lemak dan abu) dapat larut dalam etanol. Sedangkan konjac glukomannan memiliki kelarutan tinggi dalam air, tetapi tidak larut dalam etanol. Berdasarkan hal tersebut, beberapa peneliti melakukan isolasi konjac glukomannan dengan 50% etanol sebagai pelarut. Metode isolasi yang berbeda akan berpengaruh pada kemurnian konjac glukomannan. Pada Tabel 2.3, dijelaskan tentang beberapa metode isolasi konjac glukomannan yang dilakukan oleh beberapa peneliti.

Tabel 2.3 Metode isolasi konjac glukomannan dari tepung porang dan ubi *Amorphophallus* konjac.

Nama Bahan	Sumber	Metode Ekstraksi	% Yield	% kemurnian	Karakterisasi dan Identifikasi	Sitasi	
Konjac Glukomannan	Tepung konjac	Ekstraksi konjac glukomannan dengan 40% etanol sebagai pelarut. Dalam penelitian ini, peneliti melakukan variasi temperatur saat pengadukan.	T	-	74.13	Komposisi KF dan KGM Tepung konjac dan KGM terdiri dari protein (analisa dengan metode Kjeldhal), abu, gula (metode DNS) dan pati (metode hidrolisis asam). Transparansi Transparansi dari tepung konjac dan KGM dikarakterisasi dengan spectrometer UV-Vis. Viscosity Karakterisasi morfologi dengan SEM	(Xu et al., 2014)
			T28	-	88.05		
			T38	-	86.38		
			T48	-	88.72		
			T58	-	88.48		
			T68	-	90.63		
			T78	-	89.11		
	Umbi porang fresh berumur 2 tahun	Ekstraksi dengan Al ₂ SO ₄ (flokulan).. Proses pemurnian dengan 96% etanol.	KF	-	79.91	Komposisi KGM, dianalisa dengan metode DNS (gula), metode I ₂ - KI (pati). Warna Morfologi, analisis dengan SEM Transparansi, analisis dengan UV-Vis spektrofotometer pada 550 nm. Kelarutan	(Yanuriati et al., 2017)
			15 menit	59.	76.83		
			30 menit	50	85.72		
7 kali			61	90.98			

Nama Bahan	Sumber	Metode Ekstraksi	% Yield	% kemurnian	Karakterisasi dan Identifikasi	Sitasi	
Konjac Glukomanan	Umbi porang fresh berumur 2 tahun	Ekstraksi dengan 50% etanol sebagai pelarut.	5 kali	65.23	88.67	Komposisi KGM, dianalisa dengan metode DNS (gula), metode I ₂ - KI (pati). Warna Morfologi, analisis dengan SEM Transparansi, analisis dengan UV-Vis spektrofotometer pada 550 nm. Kelarutan	(Yanuriati et al., 2017a)
		Pengadukan dengan kecepatan 1200 rpm. Residu diperas secara berulang.	7 kali	61.05	90.98		
	Tepung porang	Ekstraksi KGM dengan Al ₂ SO ₄ sebagai flokulan dan pemurnian dengan 95% etanol	-	-	92.69	Analisis physico chemical meliputi kelarutan, viskositas pada pH 6, kapasitas penyerapan air, derajat polimerisasi dan derajat asetilasi Karakterisasi prebiotik dari KGM, dilakukan pada tikus putih (<i>mice</i>).	(Harmayani et al., 2014)

Nama Bahan	Sumber	Metode Ekstraksi	% Yield	% kemurnian	Karakterisasi dan Identifikasi	Sitasi	
Konjac glukomannan	Umbi konjac	Isolasi konjac glukomannan : 2 gram tepung konjac dicampur dengan 200 mL 50% etanol dan diaduk selama 30 menit dengan kecepatan 5000 rpm pada temperatur ruang (25°C).	-	-	92	<p>Karakterisasi konjac glukomannan yang dilakukan, diantaranya adalah :</p> <p>Kandungan gula, dengan metode DNS Pati, dianalisa berdasarkan metode yang terdapat dalam Megazyme International Ireland Ltd.</p> <p>Kandungan protein, dianalisa dengan metode Kjedahl.</p> <p>Derajat asetilasi, analisa dengan metode a back titration method.</p> <p>FTIR</p> <p>Massa molekul, dianalisa dengan GPC – MALLS</p>	(Chua et al., 2012)

2.5 Modifikasi dan Aplikasi Konjac Glukomannan

Konjac glukomannan (KGM) terdiri dari β -1,4 D-mannosa dan D-glukosa residu (Chua et al., 2012) , yang terikat oleh ikatan β -1,4 glikosidik (Chen et al., 2016) dan sebagian rantai C-C terikat oleh ikatan β -1,3 glikosidik (Tester and Al-Ghazzewi, 2016) . KGM mengandung 5-10% gugus asetil. Secara umum, gugus asetil memiliki pengaruh penting pada kelarutan dan proses *gelling* dalam air (Zhang et al., 2014).

Gel KGM yang stabil memiliki aplikasi yang luas, seperti pada pembuatan *hard capsule* (Chen et al., 2016) dan *edible film* (Al-Hassan and Norziah, 2012) . Untuk memperoleh gel KGM yang stabil dengan kemampuan pembentukan gel yang baik, maka dilakukan modifikasi KGM dengan metode deasetilasi (Li et al., 2014). Proses deasetilasi dapat menurunkan kelarutan KGM dalam air (Jian et al., 2015). Proses ini dapat dilakukan melalui metode *copolymerization*, *crosslinking*, dan *crosslinking-blending*. Pada umumnya, beberapa modifikasi KGM secara kimia dapat mengubah respon KGM terhadap pH, degradasi derajat asetilasi, dan aplikasinya (Zhang et al., 2014)

2.5.1 Konjac Glukomannan Teroksidasi (OKGM)

Oxidized Konjac glukomannan (OKGM) adalah hasil oksidasi konjac glukomannan. OKGM memiliki aplikasi yang luas dalam bidang farmasi. Pada tahun 2016, Y.Chen et. al. membuat *hard capsule* dan *edible film* dengan OKGM sebagai bahan dasarnya. Metode modifikasi kimia dari KGM menjadi OKGM telah dilakukan pada penelitian. Metode tersebut dibedakan menjadi dua, yaitu OKGM dari reaksi KGM dengan sodium periodate dan oksidasi dengan enzim β -mannanase.

Pada tahun 2016, L.Fan et.al membuat OKGM sebagai pengering luka dengan cara sebagai berikut (Fan et al., 2016) :

1. Mencampurkan 600 mL larutan konjac glukomannan 1% (b/v) dalam 1.58 gram sodium periodate pada temperatur 30°C, keadaan gelap selama 12 jam.
2. Kemudian 10 mL etilen glikol ditambahkan ke dalam campuran untuk mengurangi periodate dan diaduk selama 2 jam.

3. Produk reaksi direndam dalam air destilasi selama 3 hari sampai bebas dari iodate (pengecekan dengan silver nitrat).
4. Produk reaksi dipisahkan dengan sentrifuge 3000 rpm selama 20 menit.
5. Supernatan dikeringkan dengan vakum pada temperatur 50°C untuk memperoleh OKGM murni.

Pembuatan OKGM sebagai bahan dasar pembuatan *hard capsule* dan *edible film*, dengan enzim β -mannanase pernah dilakukan oleh Chen et.al pada tahun 2016 dengan tahapan seperti berikut :

1. β -mannanase 1 mg ditambahkan ke dalam 4L 8,1 g/L larutan KGM. Reaksi enzimatis terjadi pada 50°C selama 10 menit.
2. Enzim dinonaktifkan dengan pemanasan dalam air panas selama 15 menit.
3. Reaksi oksidasi terjadi pada pH konstan (pH = 10) dengan penambahan 2 M NaOH.

OKGM hasil reaksi KGM dengan β -mannanase dapat diaplikasikan dalam bidang makanan sebagai plastik pembungkus makanan yang dapat dimakan dan bidang obat-obatan sebagai *hard capsule* (Chen et al., 2016).

2.5.2 KGM-asam akrilik dan KGM-poli(asam akrilik)

Pada tahun 2004, Liu menemukan jenis hidrogel baru yang ditargetkan untuk obat usus. Hidrogel tersebut adalah KGM yang didoping dengan asam akrilik melalui proses kopolimerisasi. Setelah kopolimerisasi, kepadatan KGM meningkat dan gel tetap terdegradasi oleh enzim β -mannanase. Kopolimerisasi 0,1 mol KGM berlangsung selama 30 hari pada kondisi pH 7,4 dan temperatur 37°C. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Liu, et.al (2004) menunjukkan bahwa kondisi pH mempengaruhi proses degradasi. Saat pH 7,4 proses degradasi hidrogel KGM berlangsung lebih cepat pada daripada pH 2,2.

Zhou (2005) melakukan polimerisasi KGM dengan asam akrilik dan akrilamida untuk membuat hidrogel baru. Rasio pembengkakan hidrogel berbanding terbalik dengan banyaknya akrilamida. Hal ini menunjukkan bahwa laju pelepasan obat (hancurnya hidrogel) dapat dikendalikan dengan mengatur kuantitas (banyaknya) akrilamida yang ditambahkan dalam proses polimerisasi

KGM. Selain itu, proses degradasi hidrogel juga dipengaruhi oleh kondisi pH dan enzim β -mannanase.

Penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa IPN (hidrogel) juga mengandung KGM dan poli (asam akrilik). Kopolimer hidrogel KGM jenis ini juga memiliki sifat sensitif terhadap pH, sehingga cocok diaplikasikan untuk pembungkus obat. Berdasarkan hasil karakterisasi dengan SEM, pori dari hidrogel KGM-IPN (hidrogel) lebih kecil daripada pori hidrogel KGM. Sehingga terjadi penurunan potensi adsorpsi dari KGM (Zhang et al., 2014).

2.5.3 KGM-Xantan

Xantan adalah jenis gum yang memiliki sifat gelling yang kuat. Pada tahun 2012, Mao et. al mengatakan bahwa kandungan terbanyak dalam xantan gum (XG) adalah gula residu. Alvarez dan Landin (2008) telah berhasil membuat pembungkus atau pembawa obat dari KGM/XG/sukrosa melalui proses granulasi basah. KGM tidak dapat dimanfaatkan langsung dalam pembuatan obat, melainkan harus didegradasi dulu dengan enzim β -mannanase.

Penambahan XG, tidak mempengaruhi proses degradasi KGM. Proses degradasi KGM dengan enzim β -mannanase dipengaruhi oleh banyaknya jumlah β -mannanase dan jenis KGM. Polimer yang berasal dari KGM Jepang memiliki kuat tarik yang lebih besar daripada KGM Amerika. Wang, Fan dan Liu (2010) membuat pembawa obat (pembungkus obat) dari campuran xantan dan KGM. Hard capsule ini bersifat larut di dalam air. Sehingga memungkinkan dapat terdegradasi di dalam usus. Selanjutnya, pada tahun 2011, Nair et. al membuat hard capsule dari campuran KGM dengan pati. Degradasi *hard capsule* ini mudah dikontrol (Zhang et al., 2014).

2.6 Polimer

Kata polimer diturunkan dari kata *poly* dan *meros*, yang berarti banyak dan bagian. Beberapa ilmuwan menyebutnya dengan kata makromolekul atau molekul besar. Polimer atau makromolekul adalah senyawa dengan berat molekul tinggi dengan panjang rantai lebih besar daripada rantai monomer yang membentuknya. Peningkatan panjangnya rantai polimer akibat polimerisasi monomer–monomer

menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia dari polimer. Senyawa polimer dengan rantai yang lebih panjang memiliki berat molekul yang lebih besar dan viskositas yang lebih tinggi. Polimer dibedakan menjadi polimer inorganik, inorganik/organik dan organik. Berdasarkan sumbernya, polimer dibedakan menjadi polimer alami dan sintetis seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Polimer Alami dan Sintetis (Carragher and Seymour, 2003)

Inorganik		Organik/inorganik	Organik	
Alami	Sintetis		Alami	Sintetis
Tanah liat	Fiber glass	Siloxanes	Protein	Polietilen
Semen	Poli (sulfur nitrit)	Polyphosphazenes	Asam nukleat	Polistiren
Tembikar	Poli (boron nitrit)	Poli fosfat ester	Lignin	Nilon
Batu bata	Silikon karbida	Polisilane	Polisakarida	Poliester
Pasir			Melanin	Poli (vinil klorida)
Kaca			Poliisoprene	Poli (vinil alcohol)
Batu				Polipropilen
Agate				
Zirconia				
Mica				
Kuarsa				
Keramik				
Grafit / berlian				
Silika				

Polimer dibedakan menjadi dua, yaitu polimer monodispersi dan polidispersi. Polimer monodispersi adalah polimer yang tersusun atas monomer yang memiliki berat molekul yang sama. Contohnya adalah protein dengan asam amino sebagai monomer penyusunnya. Sedangkan polimer polidispersi adalah polimer yang tersusun atas polimer lain yang memiliki berat molekul yang berbeda, seperti pati yang tersusun atas dua polimer yaitu polisakarida linier yang disebut dengan amilosa, dan amilopektin yang didefinisikan sebagai polisakarida bercabang.

Berdasarkan jenis monomer yang menyusun rantainya, polimer dibedakan menjadi homopolimer dan kopolimer. Homopolimer adalah polimer yang dihasilkan dari satu jenis monomer. Sedangkan kopolimer adalah polimer yang dihasilkan dari 2 atau lebih jenis polimer yang berbeda. Kopolimer terdiri dari kopolimer alternasi (-A-B-A-B-), kopolimer acak (-A-A-B-A-), kopolimer blok (-A-A-B-B-) dan kopolimer cangkok. Kopolimer acak secara esensial terdiri dari satu polimer (-A-A-A-A-) dan polimer lain (-B-B-B-B-) sebagai cabang (Bhadra et al., 2009).

2.6.1 Berat Molekul Polimer

Polimer memiliki sifat yang berbeda karena ukuran molekulnya. Ukuran molekul polimer didefinisikan sebagai berat molekul atau massa molar. Semakin tinggi berat molekul, maka semakin panjang rantai polimernya. Berat molekul rata-rata (\bar{M}) sebuah polimer adalah hasil rata-rata jumlah pengulangan atau yang disebut sebagai DP (derajat polimerisasi). (\bar{M}) dari polimer dengan rumus molekul $(\text{CH}_2 \text{CH}_2)_{1000}$ adalah $1000 (28) = 28,000$.

Massa molar dari polimer dibedakan berdasarkan jenis polimernya. Massa molar dari homopolimer dihubungkan dengan derajat polimerisasi (x), yang merupakan jumlah pengulangan unit pada rantai polimer. Sehingga massa molar polimer didefinisikan dengan persamaan 2.1.

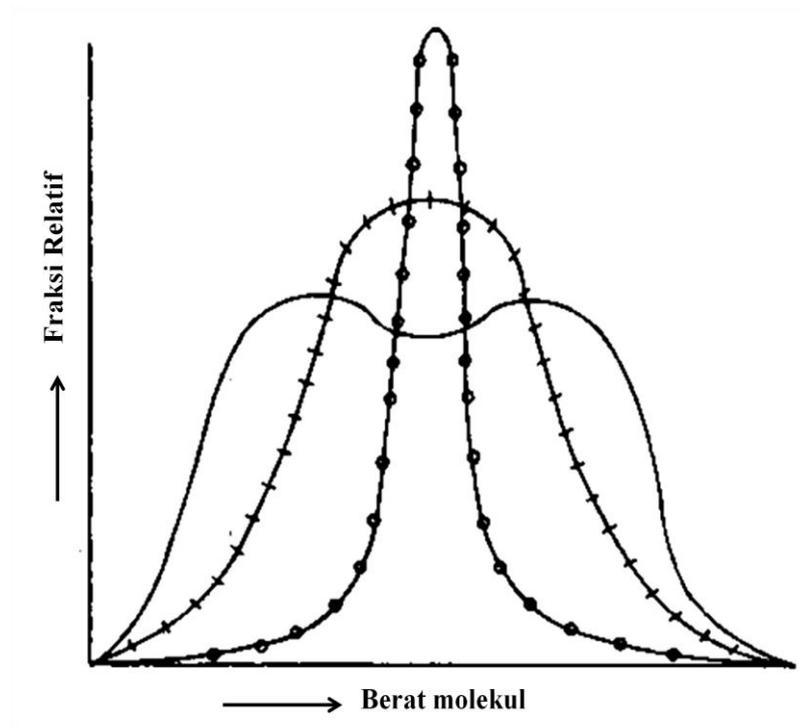
$$M = x M_o \quad (2.1)$$

Dimana M_o adalah massa molar dari pengulangan monomer. Sedangkan untuk kopolimer, massa molar adalah hasil penjumlahan dari $x M_o$ dari setiap pengulangan monomer yang digunakan (Carraher and Seymour, 2003).

2.6.1.1 Distribusi Massa Molar

Polimer terdiri dari makromolekul (rantai panjang) dengan massa molar tertentu. Polimer dengan nama yang sama memiliki massa molar yang berbeda. Hal ini dikarenakan oleh polimerisasi yang terjadi dalam proses sintesis. Seperti polimer PANI (polianalin) yang disintesis dari monomer aniline. Semakin lama

proses polimerisasi, maka aniline akan teroksidasi secara kontinyu dan menghasilkan rantai polimer yang lebih besar. Distribusi massa molar dari polimer digambarkan seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kurva distribusi massa molar

Makromolekul (kecuali protein dan DNA) memiliki massa molar distribusi (MMD). Homopolimer dengan rantai yang pendek terdiri dari rantai yang sama dengan jumlah dan pengulangan yang berbeda. Pada umumnya, makromolekul didefinisikan dengan nilai massa molar rata-rata seperti massa molar rata-rata dari jumlah (M_n) atau berat (M_w) dan indeks polidispersi (IPD) (Carragher and Seymour, 2003).

2.6.1.2 Massa Molar Rata-rata

M_n dan M_w dihitung dari rata-rata jumlah atau berat rantai polimer dengan massa molar yang diketahui.

$$\bar{M}_n = \frac{\sum M_i \cdot n_i}{\sum n_i} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned}\bar{M}_w &= \frac{\sum M_i \cdot w_i}{\sum w_i} \\ &= \frac{\sum M_i^2 \cdot n_i}{\sum n_i}\end{aligned}\tag{2.3}$$

M_n dan M_w dapat direlasikan dengan sifat makroskopik makromolekul dan menjadi parameter penting dalam menentukan kinetik polimer. Makromolekul dapat memiliki nilai M_w yang sama tetapi M_n yang berbeda. Perbedaan nilai distribusi rata-rata diindikasikan sebagai nilai PDI. Dua makromolekul dapat memiliki nilai M_n dan M_w yang sama, tetapi memiliki sifat yang berbeda. Hal ini disebabkan karena makromolekul tersebut memiliki MMDs yang berbeda (Carraher and Seymour, 2003).

2.6.2 Filler

Berdasarkan American Society for Testing and Materials standar ASTM D-883, *filler* adalah material inert yang ditambahkan dalam plastik untuk memodifikasi sifat dan performa dari plastik. Secara umum, *filler* dianggap sebagai zat aditif pada polimer, karena memiliki karakteristik geometri, permukaan, dan komposisi kimia yang tidak menguntungkan pada pembuatan polimer. *Filler* hanya dapat meningkatkan sedikit modulus, tetapi tidak dapat meningkatkan *tensile strength* dan *elongation break* pada polimer. Penggunaan *filler* dalam polimer dapat mengurangi biaya produksi, karena harga *filler* relative lebih rendah daripada bahan dasar untuk polimer.

Filler diklasifikasikan menjadi *filler* organik dan anorganik seperti pada Tabel 2.5. *Filler* memiliki bentuk yang tidak beraturan dan berserat. *Filler* biasanya memiliki bentuk yang kaku dan tidak mengganggu struktur dari bahan dasar polimer. Penambahan *filler* pada polimer dapat dilakukan dengan menambahkan *filler* dengan jumlah >5% dari bahan dasar polimernya.

Tabel 2.5 Jenis *filler* pada plastik

Jenis <i>Filler</i>	Contoh
Inorganik	
Oksida	Kaca (fiber, sphere, hollow sphere, flakes) MgO, SiO ₂ , Sb ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , dan ZnO
Hidroksida	Al(OH) ₃ dan Mg(OH) ₂
Garam	CaCO ₃ , BaSO ₄ , CaSO ₄ , fosfat, dan hidrokalzit
Silika	Kaolin
Logam	Boron dan baja
Organik	
Karbon, grafit	Karbon fiber, grafit fiber, karbon nanotube, dan karbon hitam
Polimer alami	Selulosa fiber, tepung kayu, pati, xantan gum, agar – agar, dan karagenan
Polimer sintetis	Poliamida, poliester dan polivinil alkohol

(Carragher and Seymour, 2003)

2.6.3 *Plasticizer* pada Bio-Polimer

Fleksibilitas polimer dapat disebabkan karena proses plastisasi internal dan eksternal. Proses plastisasi secara internal terjadi karena perubahan struktur dari polimer akibat dari proses kopolimerisasi, penambahan polimer lain atau gugus besar pada rantai polimer. Sehingga menyebabkan polimer tersebut menjadi lunak dan fleksibel. Metode lain untuk meningkatkan fleksibilitas polimer adalah melalui penambahan reagen yang berperan sebagai *plasticizer* dalam polimer. Reagen yang berperan sebagai *plasticizer* harus bersifat *non-volatile*, *non-mobile*, *inert*, murah, tidak beracun, dan sesuai dengan polimer yang akan dibuat.

Menurut definisi ASTM D-883, *plasticizer* adalah bahan yang tergabung dalam polimer untuk meningkatkan kemampuan kerja dan fleksibilitas atau distensibilitasnya. Penambahan *plasticizer* dapat meningkatkan viskositas lebur, modulus elastisitas, dan temperatur transisi glass (T_g) dari polimer.

Penambahan *plasticizer* dalam polimer yang diaplikasikan dalam bidang makanan dan farmasi harus bersifat *low toxicity*, *biodegradable*, dan *biocompatible*. Pada tahun 2010, Honary mengatakan bahwa *plasticizer* dengan

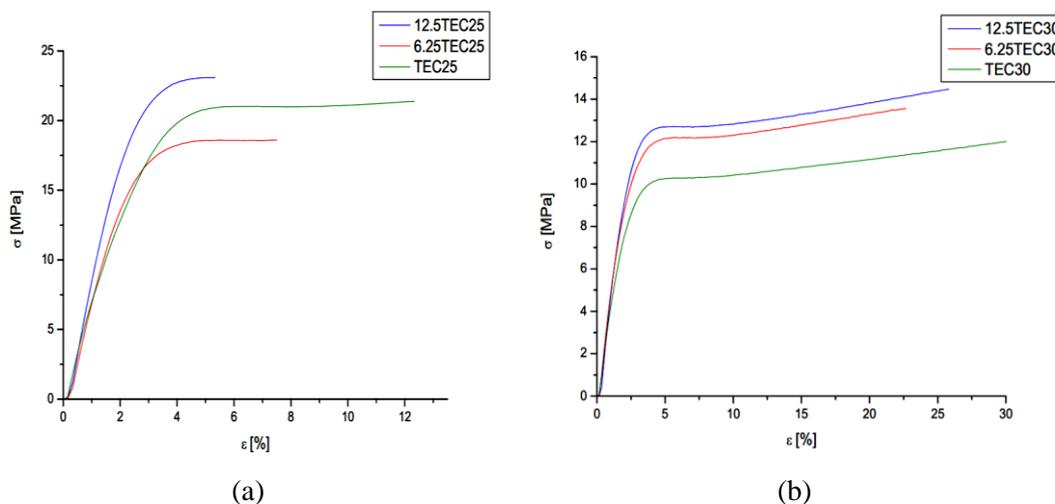
berat molekul yang rendah cenderung membuat permukaan film HPMC menjadi halus, homogen, dan tidak mudah rapuh. Sedangkan *plasticizer* dengan berat molekul yang besar menyebabkan HPMC menjadi susah larut dalam air dan lebih bersifat hidrofobik. Beberapa contoh *plasticizer* yang digunakan dalam pembuatan polimer dari polisakarida, protein, dan lemak dijelaskan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 *Plasticizer* untuk film dari polisakarida, protein dan lemak

Tipe polimer	Aplikasi	<i>Plasticizer</i>
Polisakarida	γ -karagenan edible film	Gliserin dan air
	Pati kentang	Gliserin dan etilen glikol Gliserin, xylitol, dan sorbitol gliserin
	Pati jagung	Ethanolamine Caproic acid, lauric acid, dan triacetin
	Pati singkong	Gliserin Gliserin dan sorbitol
	HPMC	Gliserin dan mannitol
	Konjac glukomannan	Sorbitol dan gliserin
	Alginat/pectin	Gliserin
	Film dari protein dan lemak	Zein
Kasein-pullulan		Air dan sorbitol
Larutan protein		Gliserin dan sorbitol
Larutan protein / emulsi		Gliserin
β -lactoglobulin		Sorbitol, gliserin dan poli-etilen glikol Sorbitol, gliserin, etilen glikol, poli-etilen glikol
Gelatin		Gliserin dan sorbitol
Gelatin kulit babi		Gliserin Sorbitol
Gelatin sapi		Asam lemak Sorbitol Gliserin

Efisiensi dari *plasticizer* didefinisikan sebagai kuantitas *plasticizer* yang ditambahkan pada polimer. Hal ini disebabkan karena jumlah *plasticizer* yang ditambahkan ke dalam polimer akan mempengaruhi sifat mekanikal (*tensile*

strength dan *elongation break*) dari polimer. Pada tahun 2011, Vieira melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah *plasticizer* terhadap sifat mekanikal polimer dari selulosa asetat dan TEC (trietil sitrat) sebagai *plasticizer*. Berdasarkan Gambar 2.5 menunjukkan hasil bahwa 12,5 TEC 25 (12,5% selulosa setat dan TEC 25%) memiliki *elongation break* lebih kecil (5%) daripada 12,5 TEC 30 (12,5% selulosa asetat dan TEC 30%) yaitu dengan *elongation break* 25,8%.



Gambar 2.5 Kurva *elongation break* dari polimer selulosa asetat dengan TEC (a) 25% dan (b) 30%

(Verbeek, 2012)

2.7 Karakterisasi Polimer

2.7.1 Penentuan Berat Molekul Polimer

Penentuan berat molekul dari polimer dapat dilakukan melalui pengukuran viskositas intrinsik dari polimer tersebut. Penentuan berat molekul polimer melalui pengukuran viskositas dapat dilakukan pada larutan dengan konsentrasi yang kecil yaitu minimum 1 g/mL. Berat molekul polimer hasil kalkulasi viskositas intrinsik disebut sebagai berat molekul relatif karena penentuannya masih merupakan perhitungan secara matematis. Sebagai perbandingan, pengukuran berat molekul dapat dilakukan dengan metode fotometri dan metode lain yang menghasilkan data berat molekul secara langsung. Penentuan berat molekul polimer dengan metode langsung disebut dengan metode mutlak.

Viskositas adalah ukuran ketahanan suatu fluida terhadap gaya geser yang diberikan. Koefisien viskositas dapat ditentukan dengan penentuan laju aliran dari fluida tersebut. Perbandingan antara viskositas suatu larutan polimer terhadap viskositas pelarut murni dapat dipakai untuk menentukan berat molekul suatu polimer. Viskositas dapat diukur dengan viskometer Oswald dan Ubbelohde. Jika viskositas polimer adalah (η) dan viskositas pelarut murni (η^*), maka viskositas spesifik larutan polimer dapat diperoleh dengan persamaan 2.4.

$$\eta_{sp} = \frac{\eta - \eta^*}{\eta^*} \quad (2.4)$$

Persamaan ini menggambarkan peningkatan viskositas yang disebabkan oleh polimer. Perbandingan (η_{sp}/c) pada pengenceran tak terhingga disebut sebagai viskositas instrinsik dan diberi lambang η_{red} . Secara matematis viskositas instrinsik dapat ditentukan dengan persamaan 2.5.

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{c} \quad (2.5)$$

Ekstrapolasi grafik antara viskositas reduksi (η_{sp} / C) terhadap konsentrasi polimer (C) pada sumbu y merupakan viskositas instrinsik $[\eta]$ berdasarkan persamaan Huggins (2.6).

$$\frac{\eta_{sp}}{C} = [\eta] + k[\eta]^2 C \quad (2.6)$$

Kemudian membuat grafik hubungan antara viskositas reduksi dan konsentrasi, sehingga diperoleh *intercept* yang nantinya dimasukkan ke persamaan (2.7) Mark Houwink – Sakurada berikut :

$$\frac{\eta_{sp}}{C} = k[Mv]^2 \quad (2.7)$$

Keterangan :

η_{sp} = viskositas spesifik

η_{red} = viskositas reduksi

η = viskositas instrinsik

t_0 = waktu awal (s)

t_1 = waktu akhir (s)

M_v = berat molekul (g/mol)

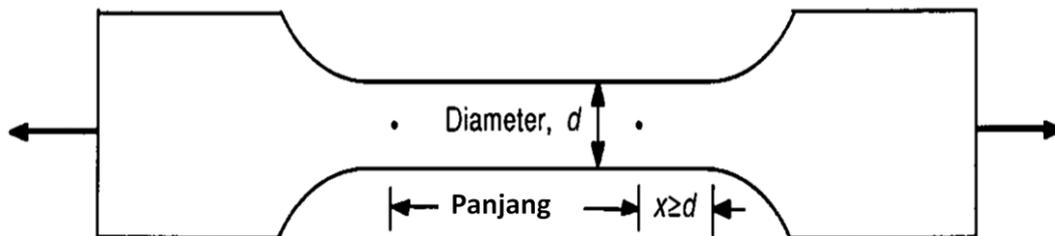
K = konstanta pelarut (L/g)

a = tetapan spesifik

(Carraher and Seymour, 2003)

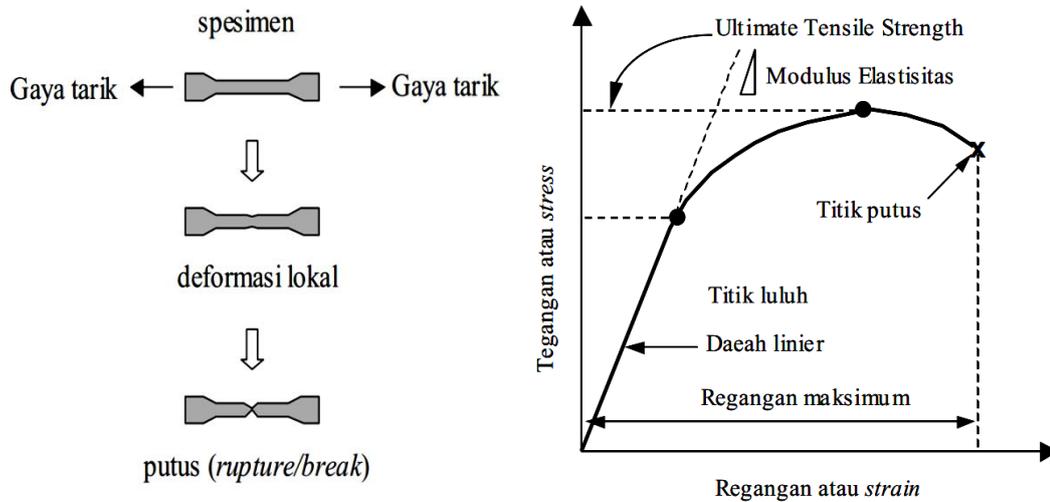
2.7.2 Kuat Tarik

Uji sifat mekanik polimer perlu dilakukan untuk mengetahui kekuatan polimer terhadap gaya yang berasal dari luar, yang dapat merusak polimer. Struktur polimer yang rapat menyebabkan kekuatan tarik dari polimer semakin kuat. Pengujian kuat tarik polimer sudah mengalami standarisasi di dunia, seperti di Amerika dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241. Pada umumnya, pengukuran sifat mekanik *hard capsule* dilakukan dengan cara memberikan gaya hingga polimer mengalami perpanjangan dan pemutusan.



Gambar 2.6 Bentuk polimer yang akan diuji *tensile strength*

Uji sifat mekanik dilakukan dengan memberikan gaya tarik pada polimer. Pengujian ini dilakukan dengan alat *Autograph*. Polimer yang akan diuji, dipotong dengan bentuk seperti pada Gambar 2.6. Kemudian ujung-ujung polimer dikaitkan penarik yang terpasang pada alat. Sehingga diperoleh kurva seperti pada Gambar 2.7 yang menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.



Gambar 2.7 Profil pengujian *tensile strength* polimer

Beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang polimer tersebut. Pada daerah linier, kurva pertambahan panjang dan beban mengikuti aturan Hooke, yang menyatakan bahwa rasio tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah konstan. *Stress* adalah beban dibagi dengan luas penampang polimer. Sedangkan *strain* adalah pertambahan panjang dibagi dengan panjang awal polimer. Berikut adalah persamaan untuk menghitung stress (persamaan 2.8), strain (persamaan 2.9), dan Modulus Young (persamaan 2.10).

$$\text{Stress } (\sigma) = \frac{F}{A} \quad (2.8)$$

$$\text{Strain } (\varepsilon) = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.9)$$

$$\text{Modulus Young} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.10)$$

Keterangan :

F = gaya (kN)

l = panjang awal (cm)

A = luas permukaan (cm²)

Δl = hasil selisih panjang awal dengan panjang akhir sebelum polimer terputus.

(Carraher and Seymour, 2003)

2.7.3 Swelling dan Disolusi

Kelarutan *hard capsule* hard capsule dalam saluran pencernaan dapat diprediksikan berdasarkan uji swelling dan disolusi. Derajat swelling menunjukkan kelarutan polimer hard capsule dalam air. Sedangkan derajat disolusi dapat menunjukkan waktu *drug release* (memudarnya obat) dari polimer *hard capsule*.

Swelling adalah peningkatan volume material (polimer) saat kontak dengan gas, cairan atau uap. Jika biopolimer kontak dengan cairan, maka akan terjadi *swelling*. Hal ini disebabkan karena adanya termodinamika yang bersesuaian antara rantai polimer dan air serta gaya tarik yang disebabkan oleh efek ikatan silang yang terjadi pada rantai polimer. Derajat swelling dapat dihitung dengan persamaan 2.11. Dengan W adalah massa basah dan kering dari polimer.

$$\text{Derajat swelling} = \frac{W_{\text{basah}} - W_{\text{kering}}}{W_{\text{basah}}} \quad (2.11)$$

Disolusi adalah proses melarutnya bahan padat. Laju disolusi didefinisikan sebagai jumlah bahan aktif yang melarut per satuan waktu dalam kondisi temperatur dan pH yang telah distandarisasi. Uji disolusi in vitro dilakukan untuk mengukur laju dan jumlah obat yang terlarut dalam medium sehingga dapat memprediksikan profil pelepasan obat di dalam tubuh. *Drug release* dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah :

- a. Kelarutan obat dan polimer dipengaruhi oleh struktur, berat molekul, dan pKa. Obat yang memiliki banyak sisi hidrofilik akan lebih cepat larut daripada obat yang memiliki sisi hidrofobik.
- b. Perbandingan antara polimer dengan obat dalam sediaan. Semakin tebal polimer *hard capsule* maka akan semakin lama waktu *drug release*.

2.8 Polisakarida

Karbohidrat adalah senyawa organik yang melimpah di alam. Sekitar $\frac{3}{4}$ tanaman di dunia menghasilkan karbohidrat sebagai produk dari proses sintesis. Sekitar 400 miliar ton gula diproduksi setiap tahun melalui proses fotosintesis

alami. Karbohidrat, hasil proses fotosintesis dapat dihasilkan oleh tanaman yang hidup di lautan dan daratan. Hal ini menunjukkan bahwa sumber karbohidrat di alam sangat melimpah.

Karbohidrat adalah polihidroksi aldehyd atau keton, atau zat yang memberikan senyawa seperti itu jika dihidrolisis. Karbohidrat memiliki rumus empiris $(\text{CH}_2\text{O})_n$, beberapa juga mengandung nitrogen, fosfor, atau sulfur. Karbohidrat dikelompokkan menjadi monosakarida, oligosakarida dan polisakarida. Monosakarida adalah gula sederhana yang terdiri dari satu unit polihidroksi aldehyd atau keton. Secara umum, monosakarida mengandung lima atau enam atom C. Oligosakarida terdiri dari 2 atau lebih monosakarida yang diikuti dengan ikatan glikosidik. Sedangkan polisakarida adalah polimer gula yang mengandung lebih dari 20 monosakarida. Beberapa polisakarida memiliki rantai polimer linier seperti selulosa dan amilosa. Sedangkan contoh polisakarida yang termasuk dalam polimer bercabang adalah amilopektin dan glikogen.

Monosakarida, karbohidrat paling sederhana yang mengandung gugus aldehyd atau keton dengan dua atau lebih gugus hidroksi. Enam karbon pada monosakarida (glukosa dan fruktosa) memiliki lima gugus hidroksi. Monosakarida yang mengandung satu gugus aldehyd disebut dengan aldosa, sedangkan ketosa memiliki satu gugus keton. Berdasarkan jumlah atom karbon penyusunnya, monosakarida dibedakan menjadi triosa, tetrosa, pentose, heksosa dan lain-lain.

Disakarida adalah senyawa yang terbentuk dari dua molekul monosakarida yang sejenis atau tidak. Disakarida dapat dihidrolisis oleh larutan asam dalam air sehingga terurai menjadi dua molekul monosakarida. Beberapa contoh dari karbohidrat disakarida adalah sukrosa, laktosa, maltose, dan selobiosa.

Polisakarida merupakan polimer dari monosakarida. Jumlah unit monosakarida penyusun polisakarida disebut dengan derajat polimerisasi. Setiap polisakarida memiliki sifat fisik (viskositas, kelarutan, dan berat molekul) yang berbeda, tergantung dari jumlah monosakarida yang penyusunnya. Unit monosakarida penyusunnya dapat berupa rantai lurus atau bercabang. Pada umumnya, unit monosakarida dari polisakarida mengandung rata-rata 3 gugus

hidroksil, oksigen cincin dan oksigen yang menghubungkan antar unit gula. Berikut adalah beberapa contoh polisakarida yang ditunjukkan pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Polisakarida alam

Polisakarida	Sumber	Monomer gula (s)	Struktur	Mol.wt
Amilopektin	Jagung, kentang	D-glukosa	Bercabang	$10^6 - 10^7$
Amilosa	Tanaman	D-glukosa	Lurus	$10^4 - 10^6$
Kitin	Hewan	2-Asetamidoglukosa		
Glikogen	Hewan (otot)	D-glukosa	Bercabang	$> 10^8$
Inulin	Artichokes	D-fruktosa	Lurus	$10^3 - 10^6$
Mannan	Ragi	D-mannosa	Lurus	-
Selulosa	Tanaman	D-glukosa	Lurus	10^6
Xylan	Tanaman	D-Xylosa	Lurus	-
Galactan	Tanaman	D-galactosa	Bercabang	10^4
Galactomannan	Biji karet	D-mannopiranosida dan D-galactosa	Lurus	10^5
Karagenan	Rumput laut	Komplek β -galactopiranosida yang terikat pada 3,6 anhydro D-galactopiranosida	Lurus	$10^5 - 10^6$
Agar	Rumput laut merah	Komplek β -galactopiranosida yang terikat pada 3,6 anhydro L-galactopiranosida	Lurus	-
Alginat	Rumput laut coklat	β - D-Mannuronic acid dan α -L-guluronic acid	Lurus	-

(Verbeek, 2012)

2.9 Biopolimer

Biopolimer adalah polimer yang diperoleh dari polimerisasi bahan baku bio dengan rekayasa proses industri. Biopolimer disebut juga dengan biodegradable polimer. Biopolimer terbuat dari material yang diisolasi dari tanaman, binatang atau biomass. Contoh dari biopolimer adalah protein, polisakarida, dan lipid. Saat ini, biopolimer diaplikasikan untuk bahan pengemas

(mie, tas belanja, kemasan makanan, karton untuk telur), medis (alat suntik, wadah infus), kosmetik dan mainan anak.

Berdasarkan bahan dasar yang digunakan dalam pembuatannya, biopolimer dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Biopolimer mikrobiologi adalah biopolimer yang dihasilkan secara bioteknologi atau fermentasi dengan mikroba genus *Alcaligenes*. Biopolimer jenis ini diantaranya adalah polihidroksi butirat (PHB), polihidroksi valerat (PHV), asam polilaktat (*polilactic acid*) dan asam poliglikolat (*poliglicolic acid*). Bahan ini dapat terdegradasi secara penuh oleh bakteri, jamur dan alga. Namun oleh karena proses produksi bahan dasarnya yang rumit mengakibatkan harga kemasan biodegradable ini relative mahal.
2. Biopolimer pertanian, biopolimer ini tidak dicampur dengan bahan sintetis dan diperoleh secara murni dari hasil pertanian. Contoh polimer pertanian adalah selulosa, selulosa asetat, kitin, pululan (hasil fermentasi pati oleh *Pullularia pullulans*). Biopolimer hasil pertanian mempunyai sifat termoplastik, sehingga mempunyai potensi untuk dibentuk atau dicetak menjadi film kemasan. Beberapa biopolimer pertanian yang berpotensi untuk dikembangkan adalah pati gandum, pati jagung, kentang, casein, zein, dan soy protein.

Keunggulan biopolimer adalah sifat alamiahnya yang mudah terdegradasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat biodegradabilitas biopolimer adalah sifat hidrofilik, bahan aditif, proses produksi, struktur polimer, morfologi dan berat molekul bahan dasar dari biopolimer. Contoh mikroorganisme yang berperan dalam biodegradasi biopolimer adalah bakteri phototrop (*Rhodospirillum*, *Rhodopseudomonas*, *Chromatium*, *Thiocystis*), pembentuk endospora (*Bacillus*, *Clostridium*), gram negatif aerob (*Pseudomonas*, *Zoogloa*, *Azotobacter*, *Rhizobium*), *Actinomycetes* dan *Alcaligenes* (Verbeek, 2012).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gelas *beaker*, gelas ukur, pipet ukur, termometer, timbangan digital, mortar, ayakan 120 mesh, oven, blender, pompa vakum, alat pencetak biopolimer *hard capsule*, dan *hotplate*. Sedangkan untuk karakterisasinya, digunakan alat-alat seperti spektrofotometer FTIR, rotary viskometer Brookfield, SEM, dan *Autograph tensile strength* Shimadzu.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi, porang umur 3 tahun yang diperoleh dari hutan Klangon (Saradan, Indonesia), agar-agar komersial (AA), etanol 96%, aqua demineralisasi, dan gliserin. Semua bahan dibeli dari Sigma.

3.2 Prosedur Kerja

3.2.1 Ekstraksi Konjac Glukomannan

Umbi porang dicuci, dikupas dan dipotong (tebal 2-3 mm). Selanjutnya, umbi porang dipanaskan pada temperatur 60°C selama 3 jam di dalam oven dan diperoleh *chips* porang. Kemudian, *chips* porang dihaluskan dengan blender untuk memperoleh tepung porang (Chua et al., 2012). Ekstraksi konjac glukomannan dilakukan dengan melarutkan tepung porang ke dalam 40% (v/v) etanol dengan rasio 1:6 (b/b). Ketika proses pengadukan, campuran dipanaskan pada temperatur 68°C dan direfuks selama 4 jam. Setelah proses ekstraksi, penyaringan, pencucian dengan 40% etanol, residu dipanaskan dengan oven pada temperatur 60°C hingga beratnya konstan dan dihaluskan (Xu et al., 2014).

3.2.2 Analisa Tepung Konjac Glukomannan

3.2.2.1 Pengukuran Viskositas Larutan Konjac Glukomannan

Tepung konjac glukomannan dianalisa sifat fisik melalui pengukuran viskositas dengan variasi temperatur saat pembuatan larutan konjac glukomannan. Larutan konjac glukomannan 1% (b/v) dibuat melalui proses pencampuran, pemanasan dan pengadukan. Konjac glukomannan 1 g dilarutkan dalam 100 mL aqua demineralisasi, diaduk dengan kecepatan 1200 rpm, dan dipanaskan pada temperatur (30, 50, 60 dan 70°C) selama 4 jam. Pengukuran viskositas dilakukan dengan viscometer Brookfield LVDV-II pada suhu 25°C, *spindle* no.4 dan kecepatan rotari 30 rpm (Xu et al., 2014).

3.2.2.2 Karakterisasi Tepung Konjac Glukomannan dengan FTIR

Struktur kimia dari konjac glukomannan dianalisis dengan spektrofotometer Fourier Transform Infrared FT-IR Shimadzu. KBr dan sampel dihaluskan dan ditekan untuk memperoleh pellet yang siap untuk dianalisis dengan spektrofotometer FTIR (Chen et al., 2016).

3.2.3 Preparasi Biopolimer *Hard Capsule*

3.2.3.1 Biopolimer *Hard Capsule* Variasi Konjac Glukomannan

Biopolimer *hard capsule* dibuat dari campuran tepung konjac glukomannan dengan variasi jumlah 1; 1,2 dan 1,4% (b/v), agar-agar 0,75% (b/v) dan gliserin 0% (v/v). Tepung konjac glukomannan (1; 1,2 dan 1,4 g) dilarutkan dalam 100 mL air demineralisasi pada temperatur 25°C dan diaduk dengan kecepatan 1200 rpm selama 4 jam. Kemudian agar-agar 0,75 g dicampurkan dengan larutan konjac glukomannan pada temperatur 80°C selama 30 menit, sehingga diperoleh larutan gel yang siap dicetak. Larutan gel dituangkan pada alat pencetak berbahan akrilik (ukuran 15 cm x 7 cm). Setelah proses pendinginan pada temperatur 25°C, biopolimer *hard capsule* dikeringkan pada suhu 40°C selama 12 jam.

3.2.3.2 Biopolimer *Hard Capsule* Variasi Gliserin

Biopolimer *hard capsule* dibuat dari campuran tepung konjac glukomannan 1,4% (b/v), agar-agar 0,75% (b/v) dan gliserin dengan variasi jumlah 0; 0,25 dan 0,5% (v/v). Tepung konjac glukomannan 1,4 g dilarutkan dalam 100 mL air demineralisasi pada temperatur 25°C dan diaduk dengan kecepatan 1200 rpm selama 4 jam. Kemudian agar-agar 0,75 g dan gliserin (0; 0,25 dan 0,5 mL) dicampurkan dengan larutan konjac glukomannan pada temperatur 80°C selama 30 menit, sehingga diperoleh larutan gel yang siap dicetak. Larutan gel dituangkan pada alat pencetak berbahan akrilik (ukuran 15 cm x 7 cm). Setelah proses pendinginan pada temperatur 25°C, biopolimer *hard capsule* dikeringkan pada suhu 40°C selama 12 jam.

3.2.3.3 Biopolimer *Hard Capsule* Variasi Agar-Agar

Biopolimer *hard capsule* dibuat dari campuran tepung konjac glukomannan 1,4% (b/v), agar-agar dengan variasi 0,5; 0,75 dan 1% (b/v) dan gliserin dengan variasi jumlah 0,25% (v/v). Tepung konjac glukomannan 1,4 g dilarutkan dalam 100 mL air demineralisasi pada temperatur 25°C dan diaduk dengan kecepatan 1200 rpm selama 4 jam. Kemudian gliserin 0,25 mL dan agar-agar (0,5; 0,75 dan 1 g) dicampurkan dengan larutan konjac glukomannan pada temperatur 80°C selama 30 menit, sehingga diperoleh larutan gel yang siap dicetak. Larutan gel dituangkan pada alat pencetak berbahan akrilik (ukuran 15 cm x 7 cm). Setelah proses pendinginan pada temperatur 25°C, biopolimer *hard capsule* dikeringkan pada suhu 40°C selama 12 jam.

3.2.3.4 Biopolimer *Hard Capsule* dari Konjac Glukomannan

Biopolimer *hard capsule* dibuat dari tepung konjac glukomannan 1,4% (b/v). Tepung konjac glukomannan 1,4 g dilarutkan dalam 100 mL air demineralisasi pada temperatur 25°C dan diaduk dengan kecepatan 1200 rpm selama 4 jam. Kemudian larutan konjac glukomannan dipanaskan pada temperatur 80°C selama 30 menit, sehingga diperoleh larutan konjac glukomannan yang siap dicetak. Larutan konjac glukomannan dituangkan pada alat pencetak berbahan

akrilik (ukuran 15 cm x 7 cm). Setelah proses pendinginan pada temperatur 25°C, biopolimer *hard capsule* dikeringkan pada suhu 40°C selama 12 jam.

3.2.3.5 Biopolimer *Hard Capsule* dari Konjac Glukomannan – Agar-agar

Biopolimer *hard capsule* dibuat dari campuran 1,4 % (b/v) tepung konjac glukomannan; dan 0,75% (b/v) agar-agar. Tepung konjac glukomannan 1,4 g dilarutkan dalam 100 mL air demineralisasi pada temperatur 25°C dan diaduk dengan kecepatan 1200 rpm selama 4 jam. Kemudian agar-agar 0,75 g ditambahkan dan dicampurkan dengan larutan konjac glukomannan pada temperatur 80°C selama 30 menit, sehingga diperoleh larutan gel yang siap dicetak. Larutan gel dituangkan pada alat pencetak berbahan akrilik (ukuran 15 cm x 7 cm). Setelah proses pendinginan pada temperatur 25°C, biopolimer *hard capsule* dikeringkan pada suhu 40°C selama 12 jam.

3.2.3.6 Biopolimer *Hard Capsule* dari Konjac Glukomannan – Agar-agar – Gliserin

Biopolimer *hard capsule* dibuat dari campuran 1,4 % (b/v) tepung konjac glukomannan; 0,75% (b/v) agar-agar dan 0,25% (v/v) gliserin. Tepung konjac glukomannan 1,4 g dilarutkan dalam 100 mL air demineralisasi pada temperatur 25°C dan diaduk dengan kecepatan 1200 rpm selama 4 jam. Kemudian agar-agar 0,75 g dan 0,25 mL gliserin ditambahkan dan dicampurkan dengan larutan konjac glukomannan pada temperatur 80°C selama 30 menit, sehingga diperoleh larutan gel yang siap dicetak. Larutan gel dituangkan pada alat pencetak berbahan akrilik (ukuran 15 cm x 7 cm). Setelah proses pendinginan pada temperatur 25°C, biopolimer *hard capsule* dikeringkan pada suhu 40°C selama 12 jam.

3.2.4 Analisis Biopolimer *Hard Capsule*

3.2.4.1 Analisis Sifat Mekanik Biopolimer *Hard Capsule*

Sifat mekanik dari biopolimer *hard capsule* ditentukan berdasarkan pengukuran *tensile strength* dan *elongation break* dengan mesin autograph (speed 100 mm/menit dan pada temperatur 25°C). Sampel biopolimer *hard capsule*

memiliki ukuran 15 cm x 1 cm. *Tensile strength* (TS) adalah gaya yang normal dibagi dengan luas area dari penampang melintang biopolimer *hard capsule*.

$$TS = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Elongation break (EB) dari biopolimer *hard capsule* dapat diukur dengan persamaan (3.2), seperti berikut:

$$TS = \frac{H - H_0}{H_0} \times 100\% \quad (3.2)$$

H_0 dan H adalah panjang awal dan akhir dari biopolimer *hard capsule* setelah mengalami perpanjangan (*elongation break*) (Chen et al., 2016).

3.2.4.2 Uji Swelling

Biopolimer *hard capsule* (ukuran 2 cm x 2 cm) ditempatkan di dalam gelas beaker 100 mL dan ditambahkan 50 mL air demineralisasi dengan kecepatan pengadukan yang konstan (75 rpm) dan temperatur tetap ($37 \pm 3^\circ\text{C}$) (Aulia, 2016).

3.2.4.3 Uji Degradasi Biopolimer *Hard Capsule*

Tujuan dari uji degradasi adalah untuk mengetahui apakah sampel biopolimer *hard capsule* dapat larut dalam air, larutan asam (kondisi lambung, asam klorida 5%, pH = 1,2) atau larutan buffer (kondisi usus, pH 4,5 dan 6,8), selama 1 jam. Biopolimer *hard capsule* (ukuran 2 cm x 2 cm) ditempatkan di dalam gelas beaker 100 mL dan ditambahkan air, larutan asam (pH = 1,2), atau larutan buffer (pH = 4,5 dan 6,8) dengan kecepatan pengadukan yang konstan (75 rpm) dan pada temperatur tetap ($37 \pm 3^\circ\text{C}$). Setelah 1 jam direndam di dalam larutan HCl 5%, biopolimer dikeringkan dalam oven pada temperatur 40°C selama 2 jam (Bae et al., 2008).

3.2.4.4 Uji Kinetika Degradasi Biopolimer pada pH = 1,2

Biopolimer *hard capsule* (ukuran 2 cm x 2 cm) diletakkan di dalam gelas beaker 100 mL dan ditambahkan 50 mL larutan asam klorida 5% (pH = 1,2) dengan kecepatan pengadukan yang konstan (75 rpm) dan temperatur tetap ($37 \pm 3^\circ\text{C}$) selama 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, dan 90 menit. Setelah perendaman di dalam larutan HCl 5%, biopolimer dikeringkan dalam oven pada temperatur 40°C selama 2 jam (Bae et al., 2008).

3.2.4.5 Uji FTIR Biopolimer *Hard Capsule*

Biopolimer *hard capsule* konjac glukomannan, konjac glukomannan – agar-agar, dan konjac glukomannan – agar-agar – gliserin dikarakterisasi dengan spektrofotometer FTIR (Chen et al., 2016).

3.2.4.6 Uji SEM

Hard capsule yang optimal dianalisa struktur morfologinya dengan SEM. Sampel yang akan dianalisa dipotong kecil dan ditempelkan pada specimen holder. Analisa dilakukan dengan perbesaran 500x (penampang melintang) dan 250x (permukaan biopolimer *hard capsule*).

3.2.4.7 Pencetakan *Hard Capsule*

Proses pencetakan *hard capsule* dilakukan melalui proses pencelupan *pinbar* ke dalam larutan gel (konjac glukomannan 1,4% (b/v), agar-agar 0,75% (b/v) dan gliserin 0,25% (v/v)) yang telah dipreparasi dengan metode pada subbab 3.2.3.6. Kemudian larutan gel yang telah menempel pada *pinbar* didinginkan pada temperatur 25°C dan dikeringkan pada temperatur 40°C selama 6 jam.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk membuat biopolimer *hard capsule* dari konjac glukomannan (KGM) yang terdapat dalam umbi porang. Dalam penelitian ini, ada tiga tahap penelitian yang saling berhubungan yaitu proses ekstraksi konjac glukomannan dari umbi porang, pembuatan biopolimer *hard capsule* dan analisa. Untuk mengetahui formulasi yang tepat, dibuat tiga jenis biopolimer dengan komposisi yang berbeda yaitu biopolimer *hard capsule* (a) konjac glukomannan, (b) konjac glukomannan – agar-agar dan (c) konjac glukomannan – agar-agar – gliserin.

4.1 Ekstraksi Konjac Glukomannan dari Umbi Porang (*Amorphophallus oncophyllus*)

Konjac glukomannan yang akan digunakan sebagai bahan dasar pembuatan *hard capsule* merupakan hasil ekstraksi tepung umbi porang (*Amorphophallus oncophyllus*) dengan metode refluks pada temperatur 68°C seperti yang dilakukan oleh Xu et al., 2014. Umbi porang (Gambar 4.1) yang digunakan berusia 3 tahun dengan massa sekitar 3 kg.



Gambar 4.1 Umbi porang usia 3 tahun

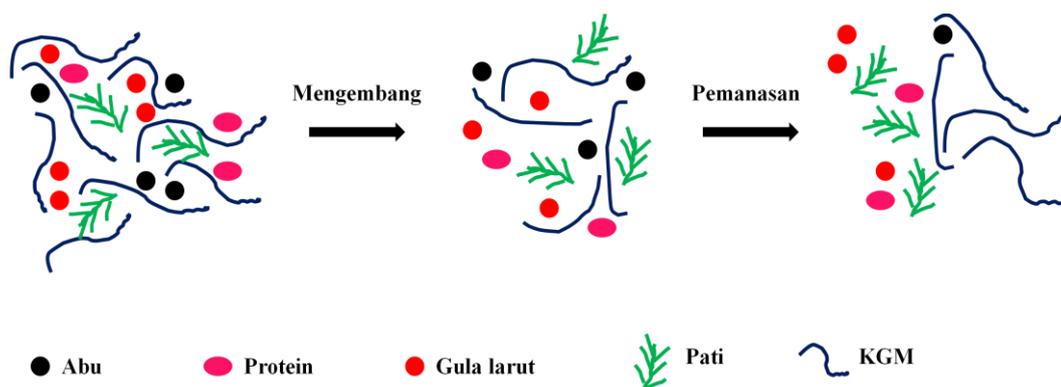
Porang adalah tanaman tahunan *family* dari *Araceae* yang tumbuh liar di kawasan hutan jati Klamong, Saradan, Jawa Timur, Indonesia. Petani porang Indonesia dapat menghasilkan umbi porang basah sebanyak 50.000 ton/tahun. Selama ini masyarakat Indonesia memanfaatkan porang sebagai komoditas ekspor, yang diekspor ke negara Jepang, Cina dan Vietnam. Masyarakat Jepang dan Cina mengimpor porang karena umbi porang mengandung konjac glukomannan yang dimanfaatkan sebagai penemulsi dan *edible film*. Karena ketersediaan porang yang melimpah, kandungan konjac glukomannan dalam umbi porang dan pemanfaatan umbi porang yang kurang maksimal di Indonesia, maka dalam penelitian ini digunakan umbi porang sebagai sumber konjac glukomannan. Hasil ekstraksi konjac glukomannan dari umbi porang akan dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan biopolimer *hard capsule*. Umbi porang yang digunakan adalah porang yang berusia 3 tahun, karena umbi porangnya memiliki butiran konjac glukomannan yang lebih banyak (Yanuriati et al., 2017).

Sebelum dikupas, umbi porang harus dicuci dengan air tawar untuk menghilangkan tanah dan kotoran yang menempel pada bagian kulit. Umbi porang tersebut dipotong-potong hingga terbentuk *chip* dengan tebal 2-3 mm. Pemotongan umbi porang dengan tebal 2-3 mm akan mempercepat proses pengeringan dan mempermudah proses penggilingan umbi porang hingga terbentuk tepung porang. Pengeringan *chip* porang dilakukan pada temperatur 80°C selama 40 menit dan dilanjutkan pada temperatur 60°C hingga beratnya konstan. Chips umbi porang basah mengalami perubahan warna menjadi hitam bila tidak segera dikeringkan. Dari *chip* umbi porang basah bermassa 134,8 g diperoleh 125,4 g tepung porang. Berdasarkan persamaan 4.1 dapat diketahui bahwa umbi porang mengandung 6,97% air.

$$\begin{aligned}
 \text{Water content} &= \frac{(\text{berat umbi porang basah} - \text{berat tepung porang})}{\text{berat umbi porang basah}} \times 100\% \\
 &= \frac{(134,8 - 125,4)}{134,8} \times 100\% \\
 &= 6,97\%
 \end{aligned}$$

Proses pemurnian tepung porang dilakukan berdasarkan metode yang dilakukan oleh Xu et al., 2014. Pemurnian tepung porang dilakukan melalui

proses refluks pada temperatur 68°C selama 4 jam dalam etanol 40% (v/v). Alasan penggunaan 40% (v/v) etanol dalam proses ini adalah sifat konjac glukomannan yang tidak dapat larut dalam etanol, namun dapat larut dalam air, sehingga etanol 40% (v/v) dapat menyebabkan butiran konjac glukomannan *swelling*.



Gambar 4.2 Diagram yang mengilustrasikan pemurnian tepung konjac

Pada tahun 2014, Xu mengatakan bahwa zat pengotor dalam tepung konjac (protein, glukosa dan pati) mudah larut dalam etanol 40% pada temperatur 38°C selama 4 jam. Peningkatan temperatur menyebabkan rusaknya interaksi antara konjac dan pati, sehingga terjadi proses *swelling* dan larutnya pengotor ke dalam etanol 40% (v/v) seperti penjelasan pada Gambar 4.2.

Konjac glukomannan memiliki titik gelatinisasi lebih rendah daripada jenis pati lainnya (>60°C). Oleh karena itu, berdasarkan penelitian W.Xu et.al pada tahun 2014, proses pemurnian konjac glukomannan efektif dilakukan melalui metode refluks pada temperatur 68°C selama 4 jam (Xu et al., 2014). Hasil refluks 30 g tepung konjac dalam etanol 40% (v/v) dengan rasio 1 : 6 (b/b) diperoleh 23 g konjac glukomannan atau mendapatkan rendemen 76,67%.

4.2 Karakterisasi Konjac Glukomannan

4.2.1 Viskositas Konjac Glukomannan

Viskositas konjac glukomannan ditentukan dengan melarutkan konjac glukomannan (1% b/v) dalam air pada temperatur 30, 50, 60 dan 70°C selama 4 jam dan pengadukan 1200 rpm. Pengukuran viskositas dilakukan pada temperatur ruang 25°C dengan viskometer Brookfield spindle no.4 dan kecepatan 30 rpm.

Pengujian viskositas larutan konjac glukomannan dengan variasi temperatur pemanasan saat pelarutan dilakukan untuk mengetahui bahwa konjac glukomannan adalah material yang larut dalam air dan mampu mengalami gelatinisasi (pembengkakan) akibat proses pemanasan saat pelarutan.

Tabel 4.1 Viskositas konjac glukomannan 1% (b/v) dengan variasi temperatur pemanasan saat pelarutan

Jumlah Konjac Glukomannan (% b/v)	Temperatur pada proses pelarutan KGM (°C)	Viskositas (MPa.s)
1%	30	5,000
	50	7,880
	60	8,200
	70	8,600

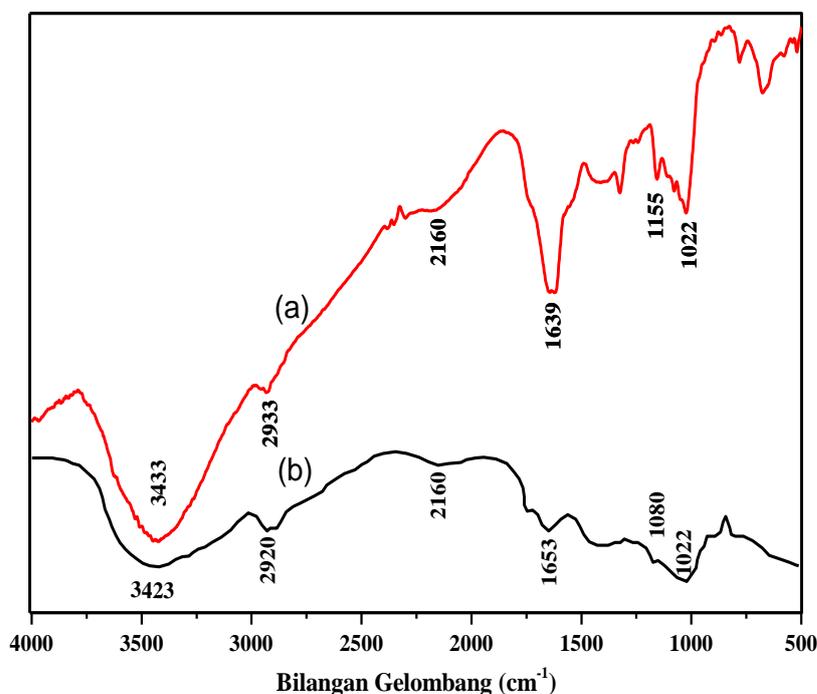
Hasil pengukuran viskositas konjac glukomannan pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa proses pemanasan yang dilakukan saat pelarutan konjac glukomannan dapat meningkatkan viskositas konjac glukomannan. Konjac glukomannan adalah polisakarida yang memiliki viskositas dan kelarutan yang tinggi dalam air. Butiran konjac glukomannan dapat mengalami pembengkakan atau gelatinisasi akibat aglomerasi fisik (pemanasan) dan proses kimia (penambahan reagen sehingga kondisi larutan KGM menjadi basa). Viskositas konjac glukomannan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur pemanasan larutan konjac glukomannan. Pada tahun 2001, Koroskenyi mengatakan bahwa pembengkakan atau proses gelatinisasi pada KGM terjadi karena molekul KGM memiliki sifat hidrofilik. KGM berperilaku sebagai cairan hidrosol bila konsentrasinya < 0,55%, sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi (> 1%), konjac glukomannan akan menjadi sol.

4.2.2 Karakterisasi Konjac Glukomannan dengan FTIR

Spektra FTIR ekstrak konjac glukomannan pada range 4000-500 cm⁻¹ ditunjukkan pada Gambar 4.3. Hasil ini dibandingkan dengan karakterisasi konjac

glukomannan standar yang dilakukan oleh Jin Huang, 2010 seperti pada Tabel 4.2.

Karakterisasi ekstrak konjac glukomannan dari umbi porang dengan FTIR digunakan untuk mengetahui bahwa hasil ekstraksi tepung umbi porang adalah polisakarida konjac glukomannan. Secara umum, terdapat dua jenis vibrasi yang dapat dianalisa yaitu vibrasi *stretching* dan *bonding*. Puncak pada 3433 cm^{-1} dari ekstrak konjac glukomannan diasumsikan sebagai vibrasi *stretching* gugus hidroksi, dan puncak pada 2933 cm^{-1} ditetapkan sebagai *stretching* gugus C-H (alkana). Sedangkan vibrasi gugus asetil dari konjac glukomannan ditunjukkan pada puncak 2160 cm^{-1} (C=O / karbonil) dan 1155 cm^{-1} (C-O / ester). Absorpsi pada bilangan gelombang 1022 diindikasikan *stretching* gugus C-O-C.



Gambar 4.3 Hasil FTIR konjac glukomannan (a) dari ekstraksi umbi porang dan (b) standar (Chen et al., 2016)

Jenis-jenis gugus fungsi yang muncul pada spektra FTIR (Gambar 4.3 dan Tabel 4.2) sesuai dengan gugus-gugus fungsi yang terdapat pada molekul konjac glukomannan (Gambar 2.2). Berdasarkan Gambar 2.2, molekul konjac glukomannan mengandung gugus-gugus fungsi karbonil (C=O / karbonil) pada gugus asetil, (C-O-C, eter) yang menghubungkan antara gugus asetil dengan

rantai gula residu (mannose dan glukosa) dan ikatan hidrogen (H-O-H) yang menghubungkan rantai siklik glukosa dengan glukosa atau glukosa dengan mannose. Ketiga gugus tersebut merupakan gugus-gugus khusus yang menjadi karakteristik dari molekul konjac glukomannan.

Tabel 4.2 Hasil FTIR konjac glukomannan dari porang dan konjac glukomannan murni.

No.	Puncak / bilangan gelombang (cm ⁻¹)		Gugus fungsi
	Ekstrak konjac glukomannan	Konjac glukomannan murni (Chen et al., 2016)	
1.	3433	3423	OH (hidroksi)
2.	2933	2920	C-H (alkana)
3.	2160	2160	C=O (pada asetil)
4.	1639	1653	Ikatan hidrogen
5.	1155	1080	C-O (pada asetil)
6.	1022	1022	C-O-C

4.3 Pembuatan Biopolimer *Hard Capsule*

4.3.1 Biopolimer *Hard Capsule* Variasi Konjac Glukomannan

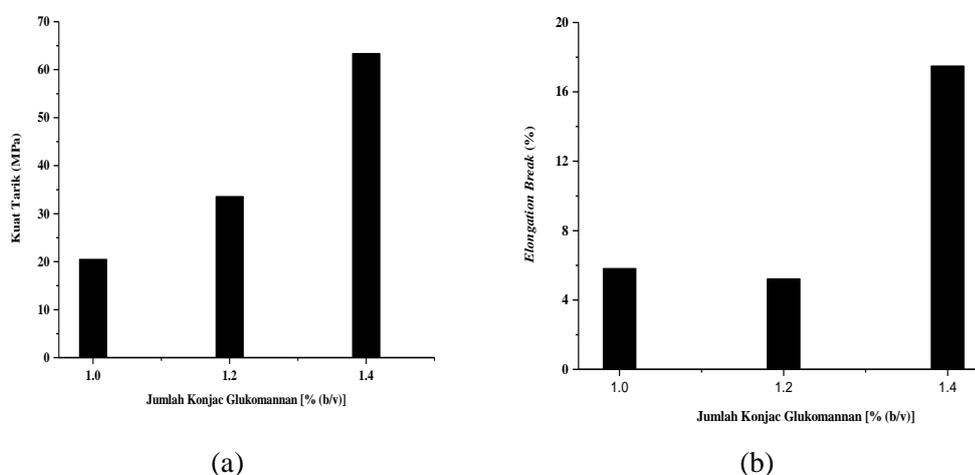
Biopolimer *hard capsule* berbahan dasar konjac glukomannan dibuat dari campuran konjac glukomannan, agar-agar dan gliserin. Pada subbab 4.3.1 dibahas tentang variasi jumlah konjac glukomannan yang dicampurkan dengan agar-agar (0,75% b/v) dan gliserin (0% v/v). Jumlah konjac glukomannan yang digunakan dalam campuran ini adalah 1; 1,2 dan 1,4% (b/v).

Tabel 4.3 Kuat tarik dan *elongation break* dari biopolimer *hard capsule* dengan variasi jumlah konjac glukomannan (1; 1,2 dan 1,4% (b/v))

No.	Komposisi			Sifat Mekanik	
	KGM (% , b/v)	Agar-agar (% , b/v)	Gliserin (% , v/v)	Kuat Tarik (MPa)	<i>Elongation Break</i> (%)
1.	1	0,75	0	20,47	5,82
2.	1,2	0,75	0	33,57	5,22
3.	1,4	0,75	0	63,37	17,5

Untuk mengetahui jumlah konjac glukomannan yang optimum dalam campuran, dilakukan pengujian sifat mekanik yaitu uji tarik. Sifat mekanik merupakan salah satu parameter untuk menentukan kualitas dari biopolimer *hard capsule*. Berdasarkan metode pembuatan *hard capsule* dengan variasi jumlah konjac glukomannan seperti pada subbab 3.2.3.1 diperoleh biopolimer yang memiliki sifat mekanik yang berbeda-beda (Gambar 4.4 dan Tabel 4.3). Sifat mekanik dari biopolimer *hard capsule* ditentukan berdasarkan nilai kuat tarik dan *elongation break*.

Biopolimer *hard capsule* dengan komposisi agar-agar 0,75% (b/v), gliserin 0% (v/v) dan jumlah konjac glukomannan 1,4% (b/v) memiliki sifat mekanik yang lebih kuat daripada biopolimer *hard capsule* dengan komposisi konjac glukomannan 1 dan 1,2%. Biopolimer *hard capsule* dengan komposisi 1,4% (b/v) konjac glukomannan memiliki nilai kuat tarik 63,37 MPa dan 17,5% untuk *elongation break*.



Gambar 4.4 (a) Kuat tarik dan (b) elongation break dari biopolimer *hard capsule* dengan variasi jumlah konjac glukomannan 1; 1,2 dan 1,4% (b/v)

Biopolimer *hard capsule* dengan komposisi konjac glukomannan dan agar-agar cenderung mudah rusak dan retak ketika proses pengeringan di dalam oven pada temperatur 40°C. Hal ini disebabkan karena formulasi dari biopolimer *hard capsule* pada subbab ini tidak ada gliserin yang dapat memberikan efek fleksibel pada biopolimer, sehingga biopolimer yang dihasilkan bersifat keras dan tidak *soft*.

4.3.2 Biopolimer *Hard Capsule* Variasi Gliserin

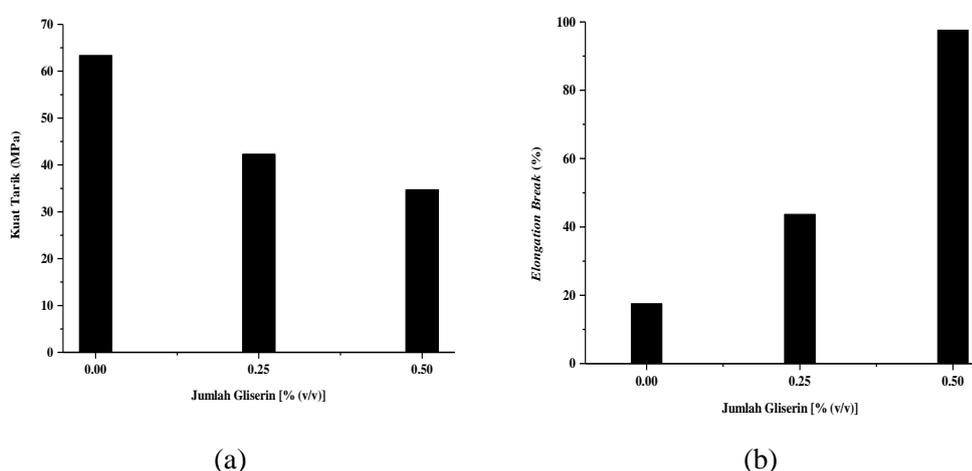
Pada umumnya, dalam pembuatan polimer dan biopolimer ditambahkan beberapa zat aditif seperti agen *gelling*, *plasticizer*, *filler* atau zat aditif lain (menyesuaikan dengan aplikasi polimer). Dalam subbab 4.3.2 akan dibahas tentang penambahan gliserin sebagai *plasticizer* dalam pembuatan biopolimer *hard capsule* berbahan dasar konjac glukomannan. Berdasarkan pengujian sifat mekanik biopolimer *hard capsule* dengan variasi konjac glukomannan dapat diketahui bahwa biopolimer *hard capsule* dengan 1,4% (b/v) konjac glukomannan memiliki nilai kuat tarik dan *elongation break* paling tinggi. Komposisi konjac glukomannan 1,4% (b/v) digunakan sebagai komposisi konjac glukomannan optimum untuk membuat biopolimer *hard capsule* dengan variasi gliserin [0; 0,25 dan 0,5% (v/v)]. Untuk mengetahui jumlah gliserin yang optimum dalam komposisi dari pembuatan biopolimer *hard capsule* berbahan dasar konjac glukomannan maka dilakukan penambahan gliserin dengan variasi 0; 0,25 dan 0,5% (v/v) dalam campuran konjac glukomannan 1,4% (b/v) dan agar-agar 0,75% (b/v). Pengujian yang dilakukan untuk menentukan biopolimer *hard capsule* yang optimum adalah uji sifat mekanik yang meliputi pengukuran kuat tarik dan *elongation break*.

Tabel 4.4 Kuat tarik dan *elongation break* dari biopolimer *hard capsule* dengan variasi jumlah gliserin (0; 0,25 dan 0,5% (v/v))

No.	Komposisi			Sifat Mekanik	
	KGM (%, b/v)	Agar-agar (%, b/v)	Gliserin (%, v/v)	Kuat Tarik (MPa)	<i>Elongation Break</i> (%)
1.	1,4	0,75	0	63,37	17,5
2.	1,4	0,75	0,25	42,28	43,68
3.	1,4	0,75	0,50	34,71	97,58

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.5 biopolimer *hard capsule* dengan komposisi gliserin 0; 0,25 dan 0,75% (v/v) memiliki nilai kuat tarik 63,37; 42,28 dan 34,71 MPa, sedangkan nilai *elongation break*-nya adalah 17,5; 43,68 dan 97,58%. Peningkatan nilai *elongation break* dan penurunan nilai kuat tarik pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa penambahan

gliserin dalam komposisi biopolimer *hard capsule* konjac glukomannan dapat menyebabkan biopolimer yang terbentuk menjadi lebih fleksibel dan *soft* daripada biopolimer yang tidak mengandung gliserin dalam komposisinya. Hal ini berhubungan dengan teori *lubricity* yang menyatakan bahwa *dry* biopolimer (biopolimer tanpa *plasticizer*) bersifat kaku, karena rantai antar polimer-polimer penyusunnya saling terikat rapat (tidak ada ruang yang memisahkan polimer-polimer tersebut, sehingga antar rantai saling bersegekan). Ketika dalam proses pembuatan ditambahkan gliserin (*plasticizer* dengan ukuran molekul yang kecil), maka gliserin mampu masuk pada rongga-rongga antar polimer penyusunnya dan menyebabkan polimer yang terbentuk menjadi lebih *soft* dan fleksibel.



Gambar 4.5 (a) Kuat tarik dan (b) elongation break dari biopolimer *hard capsule* dengan variasi variasi jumlah gliserin (0; 0,25 dan 0,5% (v/v))

Penambahan gliserin yang tidak tepat (terlalu banyak) seperti pada biopolimer *hard capsule* no.3 (konjac glukomannan 1,4% (b/v); agar-agar 0,75% (b/v) dan gliserin 0,5% (b/v)) menyebabkan biopolimer yang terbentuk menjadi sangat lembek dan menjadi berminyak. Disamping itu, larutan gel yang terbentuk juga bersifat encer dan tidak dapat menempel pada *pinbar* pencetak *hard capsule*. Oleh karena itu biopolimer *hard capsule* no.2 (konjac glukomannan 1,4% (b/v); agar-agar 0,75% (b/v) dan gliserin 0,25% (b/v)) dianggap sebagai biopolimer yang paling optimum, karena memiliki bentuk yang fleksibel namun lebih padat dan kuat daripada biopolimer no.3.

4.3.3 Biopolimer *Hard Capsule* Variasi Agar-Agar

Dalam pembuatan biopolimer *hard capsule* berbahan dasar konjac glukomannan dibutuhkan hidrokoloid atau polisakarida jenis lain yang mampu membentuk gel (agen *gelling*) seperti pektin, xantan *gum*, agar-agar dan k-karagenan. Dalam penelitian ini, agen *gelling* yang digunakan adalah agar-agar. Agar-agar memiliki keunggulan seperti mudah diperoleh dan harganya relatif rendah. Penambahan agar-agar dalam pembuatan biopolimer *hard capsule* konjac glukomannan selain sebagai agen *gelling*, agar-agar mampu meningkatkan nilai kuat tarik dari biopolimer.

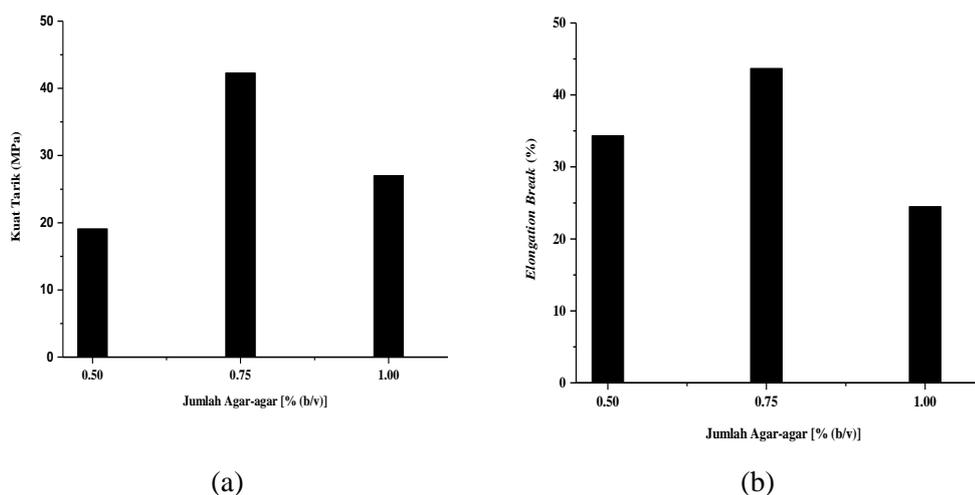
Berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik pada subbab 4.3.1 dan 4.3.2, diketahui bahwa jumlah konjac glukomannan dan gliserin yang optimum adalah 1,4% (b/v) dan 0,25% (v/v). Jumlah konjac glukomannan dan gliserin yang optimum selanjutnya digunakan untuk pengujian sifat mekanik dari biopolimer *hard capsule* dengan variasi jumlah agar-agar. Variasi jumlah agar-agar yang ditambahkan ke dalam formulasi adalah 0,5; 0,75 dan 1% (b/v). Untuk mengetahui jumlah agar-agar yang optimum, maka dilakukan pengujian sifat mekanik yang meliputi uji tarik dan *elongation break*.

Tabel 4.5 Kuat tarik dan *elongation break* dari biopolimer *hard capsule* dengan variasi jumlah agar-agar (0,5; 0,75 dan 1% (b/v))

No.	Komposisi			Sifat Mekanik	
	KGM (%, b/v)	Agar-agar (%, b/v)	Gliserin (%, v/v)	Kuat Tarik (MPa)	<i>Elongation Break</i> (%)
1.	1,4	0,50	0,25	19,1	34,33
2.	1,4	0,75	0,25	42,28	43,68
3.	1,4	1	0,25	27	24,48

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.6 biopolimer *hard capsule* dengan komposisi agar-agar [0,5; 0,75 dan 1% (b/v)] memiliki nilai kuat tarik 19,1; 42,28 dan 27 MPa, sedangkan nilai *elongation break*-nya adalah 34,33; 43,68 dan 24,48%. Peningkatan jumlah agar-agar yang ditambahkan dalam formulasi tidak selalu menyebabkan peningkatan nilai kuat tarik dan *elongation break*-nya. Seperti yang terlihat antara biopolimer no.2 dan no.3, biopolimer no.3

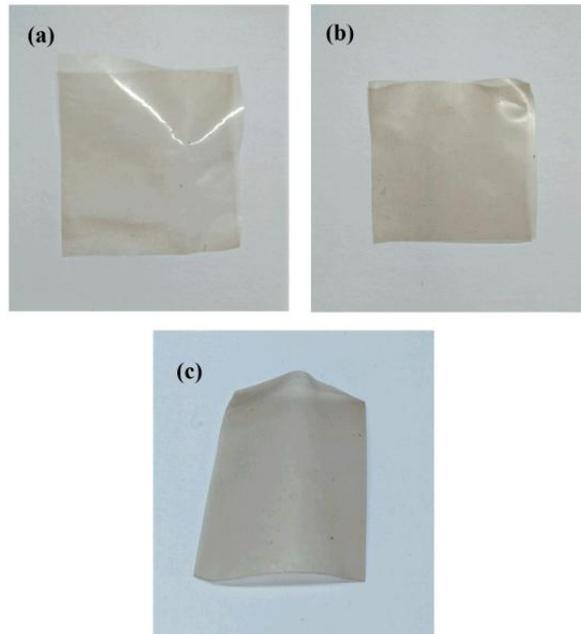
[agar-agar (1% (b/v))] memiliki nilai kuat tarik dan *elongation break* yang lebih rendah daripada biopolimer no.2 [agar-agar (0,75% (b/v))]. Hal ini disebabkan karena proses pencampuran agar-agar pada biopolimer no.3 terjadi tidak sempurna, artinya bahwa agar-agar tidak homogen (sebagian agar-agar larut dan sebagian tidak larut) pada proses pencampuran tersebut.



Gambar 4.6 (a) Kuat tarik dan (b) elongation break dari biopolimer *hard capsule* dengan variasi variasi jumlah agar-agar (0,5; 0,75 dan 1% (b/v))

4.3.4 Biopolimer *Hard Capsule* KGM, KGMA, dan KGMAG

Pembuatan biopolimer *hard capsule* dari konjac glukomannan dilakukan berdasarkan metode yang dilakukan oleh Chen. Et. al pada tahun 2016. Metodenya terdiri dari 4 tahap, yaitu pelarutan, pencampuran, pencetakan dan pengeringan. Dalam penelitian ini, ada tiga jenis biopolimer yang dibuat dengan formulasi yang berbeda-beda yaitu seperti pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 biopolimer *hard capsule* (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAg

Biopolimer *hard capsule* KGM dengan komposisi konjac glukomannan (tanpa penambahan agen gelling dan plasticizer) memiliki bentuk yang tipis dan rapuh. Biopolimer *hard capsule* KGMA memiliki bentuk yang kaku setelah ditambahkan agar-agar sebagai agen gelling. Selain memberikan efek sinergis pada gel konjac glukomannan – agar-agar, penambahan agar-agar menyebabkan biopolimer yang terbentuk KGMA menjadi kuat dan tidak mudah patah ketika ditarik. Dan biopolimer *hard capsule* KGMAg memiliki bentuk yang tebal, fleksibel, mudah ditekuk dan *soft*, sehingga dapat mengalami perpanjangan ketika ditarik. Ketiga biopolimer tersebut berwarna coklat, hal ini disebabkan karena *raw material* konjac glukomannan dan agar-agar berwarna coklat. Untuk mengetahui lebih baik tentang kualitas biopolimer *hard capsule* yang terbentuk maka dilakukan beberapa uji, seperti uji sifat mekanik, swelling, degradasi polimer, kecepatan degradasi polimer pada larutan HCl 5% (pH = 1,2).

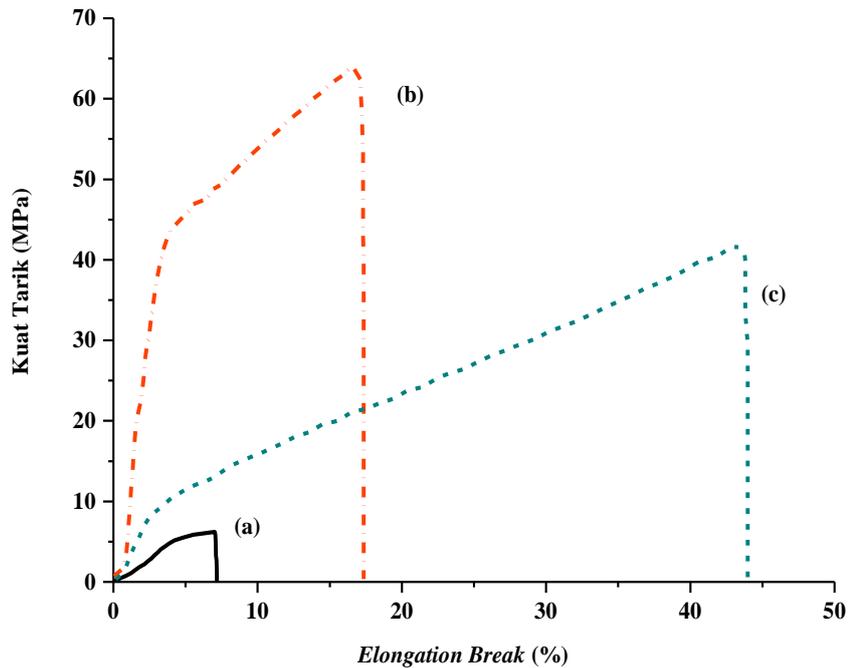
4.4 Uji tarik Biopolimer *Hard Capsule*

Kuat tarik dan elongation break merupakan parameter untuk mengetahui sifat mekanik dari biopolimer *hard capsule* yang terbentuk. Sifat mekanik menentukan kualitas biopolimer *hard capsule* yang terbentuk. Biopolimer *hard*

capsule yang memiliki kuat tarik yang rendah cenderung mudah rusak dan rapuh, sehingga dapat menyebabkan tumpahnya obat.

Kuat tarik dan elongation break dari setiap biopolimer *hard capsule* (KGM, KGMA dan KGMA^G) dihitung dengan persamaan 3.1 dan 3.2. Plot kuat tarik dan elongation break dari biopolimer yang terbentuk ditunjukkan oleh gambar 4.8. Plot uji tarik terdiri dari grafik yang menunjukkan peningkatan atau penurunan dari kuat tarik dan *elongation break* dari biopolimer (KGM, KGMA dan KGMA^G). Titik tepat dimana terjadi penurunan nilai kuat tarik menunjukkan bahwa biopolimer tersebut mengalami deformasi atau patah akibat gaya yang mengenainya.

Biopolimer KGM adalah biopolimer yang paling rapuh, karena memiliki nilai kuat tarik dan elongation break yang paling rendah daripada biopolimer yang lain yaitu nilai kuat tarik 6,15 MPa dan 7,3% untuk elongation break. Sedangkan biopolimer KGMA menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat tarik dan elongation break setelah penambahan agar-agar yaitu 63,37 MPa untuk kuat tarik dan elongation break 17,5%. Selain sebagai agen gelling, agar-agar dapat meningkatkan kuat tarik dan *elongation break* dari biopolimer yang terbentuk. Kualitas biopolimer konjac glukomannan semakin meningkat dengan penambahan gliserin sebagai plasticizer, seperti yang tertera pada gambar 4.8 (c) biopolimer *hard capsule* KGMA^G (konjac glukomannan – agar-agar – gliserin). Berdasarkan Gambar 4.8 (c) penambahan gliserin menyebabkan peningkatan nilai elongation break dan penurunan nilai kuat tarik yaitu 40,33 % dan 42,28 MPa.



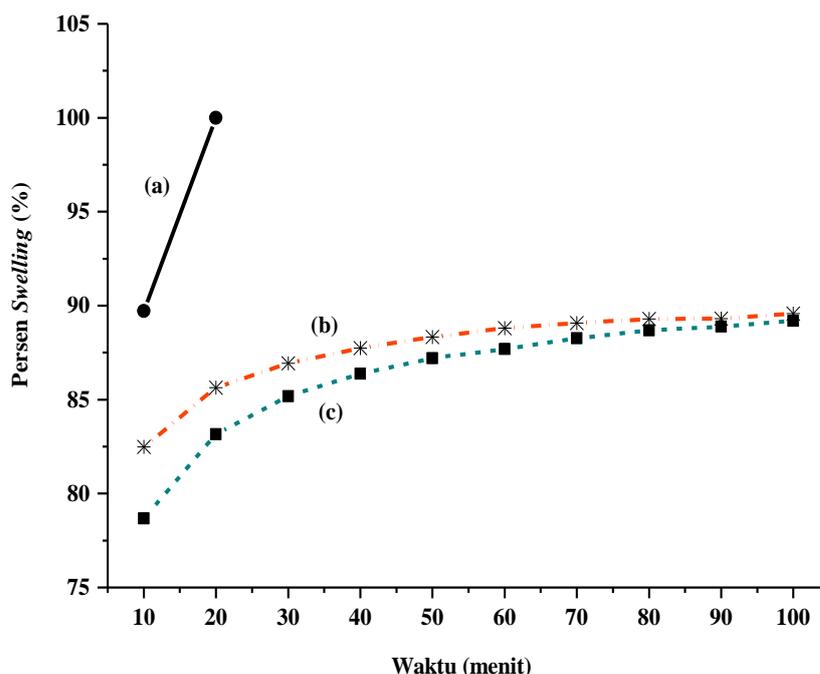
Gambar 4.8 Kurva kuat tarik dan elongation break biopolimer *hard capsule* (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAg

Agar-agar dalam formulasi biopolimer bertindak sebagai agen gelling, polimer blend, dan filler. Agar-agar termasuk dalam *filler* organik atau alami. Pada umumnya, *filler* dapat meningkatkan sifat mekanik biopolimer seperti modulus, *tensile strength* dan *elongation break* pada polimer. Penggunaan *filler* dalam polimer dapat mengurangi biaya produksi, karena harga *filler* relative lebih rendah daripada bahan dasar untuk polimer.

Berdasarkan Honary (2010), plasticizer dengan berat molekul yang rendah cenderung membuat permukaan film HPMC menjadi halus, homogen, fleksibel dan tidak mudah rapuh. Penurunan nilai kuat tarik dan peningkatan elongation break akibat penambahan gliserin (*plasticizer*) pada biopolimer KGMAg, disebabkan karena keberadaan *plasticizer* dengan berat molekul yang kecil dan jumlah yang tepat dapat menurunkan ikatan intermolekul antar rantai biopolimer. Plasticizer dengan berat molekul yang kecil akan masuk di antara polimer yang menyusun material. Keberadaan *plasticizer* dapat mengurangi ketahanan (kekerasan polimer), meningkatkan *elongation break*, dan fleksibilitas. Pengaruh plasticizer terhadap sifat mekanik dari biopolimer dapat dihubungkan dengan teori lubricity dan teori gel.

4.5 Uji Swelling

Uji swelling dilakukan untuk mengetahui ketahanan biopolimer terhadap air. Proses swelling pada biopolimer terjadi karena molekul pelarut masuk ke dalam biopolimer melalui pori-pori biopolimer *hard capsule*. Komposisi penyusun mempengaruhi sifat hidrofilik atau hidrofobik dari biopolimer.



Gambar 4.9 Derajat swelling dari biopolimer (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAg

Berdasarkan Gambar 4.9, biopolimer KGM dengan konjac glukomannan sebagai *raw material*-nya, memiliki kemampuan swelling yang lebih besar daripada biopolimer KGMA dan KGMAg, bahkan pada menit ke 20, biopolimer ini larut di dalam air. Hal ini disebabkan karena konjac glukomannan bersifat hidrofilik dan mudah larut di dalam air. Ikatan hidrogen mempunyai pengaruh terhadap kelarutan dalam air, semakin kuat ikatan hidrogen antar molekulnya, semakin sulit untuk larut dalam air (Zhang et al., 2014). Keberadaan gugus asetil dalam molekul KGM mempengaruhi kelarutan KGM dalam air. Kelarutan air dari KGM menurun dengan meningkatnya deasetilasi gugus asetil dalam molekul KGM (Behera and Ray, 2016). Faktor lain yang mempengaruhi kelarutan KGM dalam air adalah molekul dipole, dipole terinduksi dan dipole sementara dari

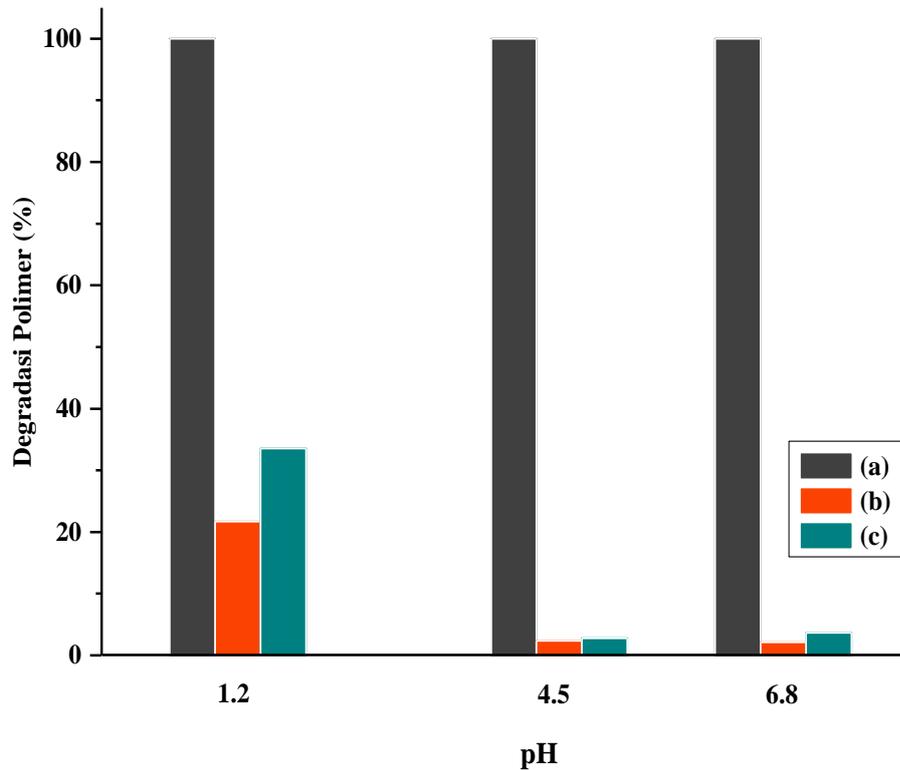
molekul KGM. Pada tahun 2001, Koroskenyi melaporkan bahwa molekul KGM memiliki kemampuan absorpsi yang tinggi, sekitar 105,4 g/g (KGM/air).

Biopolimer KGMA dengan adanya penambahan agar-agar ke dalam larutan konjac glukomannan, menyebabkan penurunan derajat swelling dari biopolimer yang terbentuk. Penambahan agar-agar menyebabkan biopolimer KGMA tidak larut dalam air. Agar-agar cenderung tidak mudah larut dalam air dingin. Tetapi agar-agar dapat larut dalam air panas yaitu pada temperatur 80°C. Hal ini yang menyebabkan biopolimer KGMA menjadi tidak larut di dalam air.

Dan penambahan gliserin pada biopolimer KGMA menyebabkan biopolimer yang terbentuk menjadi bersifat hidrofobik. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9, biopolimer KGMA memiliki kemampuan *swelling* yang paling rendah. Menurut Honary (2010), keberadaan *plasticizer* dalam polimer HPMC (hidroksipropil metil selulosa) menyebabkan biopolimer bersifat hidrofobik dan susah larut dalam air.

4.6 Uji Degradasi Biopolimer

Uji degradasi biopolimer bertujuan untuk memprediksikan kapan biopolimer tersebut mengalami degradasi. Diasumsikan bahwa saat biopolimer mengalami degradasi, maka akan terjadi *drug release*. Pada umumnya, hard capsule komersial dapat larut dalam air selama 5 menit. Berbeda dengan biopolimer yang dibuat dalam penelitian ini. Seperti hasil pengujian swelling pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa biopolimer *hard capsule* KGMA dan KGMA tidak dapat larut di dalam air. Sehingga perlu dilakukan uji degradasi biopolimer pada kondisi pH yang berbeda, yaitu pH 1,2 ; 4,5 dan 6,8. Diasumsikan bahwa pH = 1,2 setara dengan pH pada lambung, pH = 4,5 usus halus dan pH 6,8 untuk kondisi usus besar.



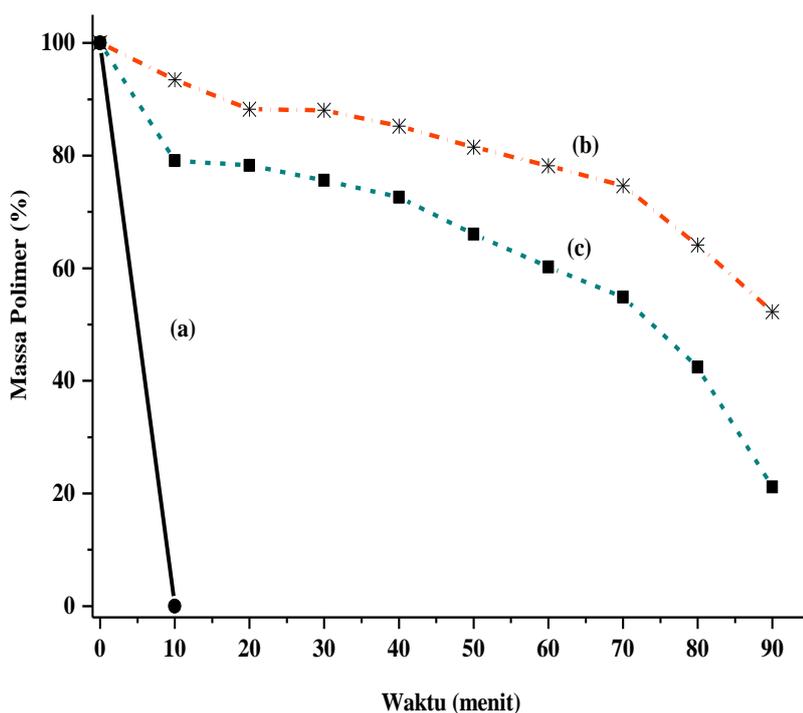
Gambar 4.10 Uji degradasi biopolimer (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAG pada variasi pH (1,2 ; 4,5 dan 6,8)

Hasil pengujian pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa biopolimer KGMA dan KGMAG mengalami degradasi paling tinggi yaitu pada pH 1,2. Larutan pH = 1,2 merupakan larutan HCl 5% yang bersifat destruktif terhadap material tertentu seperti logam, mineral dan biopolimer. Sifat destruktif pada HCl menyebabkan biopolimer KGMA dan KGMAG rusak (larut sebagian), sehingga berkurang massanya. Penambahan gliserin menyebabkan biopolimer KGMAG lebih mudah terdegradasi daripada biopolimer KGMA. Biopolimer KGMAG terdegradasi 33,54% dan biopolimer KGMA mengalami pengurangan massa sebanyak 21,68 % dalam larutan HCl (pH = 1,2), temperatur $37 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

4.7 Uji Degradasi Biopolimer pada pH 1,2

Dalam pengujian degradasi biopolimer ada 2 tahap yaitu perendaman biopolimer pada larutan HCl 5% (pH = 1,2) dan pengeringan polimer selama 2 jam. Sehingga pengurangan massa biopolimer dapat disebabkan oleh 2 hal yaitu

perendaman pada HCl dan pengeringan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah biopolimer KGM, KGMA dan KGMAG yang terdegradasi pada larutan HCl 5% (pH = 1,2) melalui pengurangan massa biopolimer setiap 10 menit. Berdasarkan data jumlah biopolimer yang terdegradasi setiap 10 menit, maka dapat diketahui waktu *drug release*. Diasumsikan bahwa kecepatan *drug release* berbanding lurus dengan kecepatan degradasi biopolimer.



Gambar 4.11 Pengurangan massa biopolimer (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAG dalam larutan HCl 5% (pH = 1,2) setiap 10 menit

Degradasi biopolimer *hard capsule* pada larutan pH 1,2 setiap 10 menit ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan pengurangan massa biopolimer yang terjadi setiap 10 menit ditunjukkan pada Tabel 4.6. Biopolimer KGM menunjukkan pengurangan massa yang besar yaitu 100%. Biopolimer KGM cenderung mudah larut dalam larutan pH 1,2. Saat perendaman selama 10 menit dalam larutan pH 1,2, biopolimer KGM mengalami degradasi dan larut dalam larutan tersebut, sehingga tidak dapat dihitung massa biopolimer KGM yang tersisa.

Biopolimer KGMA cenderung tidak mudah hancur dan terdegradasi bila dibandingkan dengan biopolimer KGMAG. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada

Gambar 4.11 dan Tabel 4.6, sampai menit ke 90 jumlah biopolimer yang terdegradasi adalah sebanyak 47,74% (KGMA) dan 78,85% (KGMAG). Biopolimer KGMAG lebih cepat dan mudah terdegradasi oleh larutan HCl 5% (pH = 1,2) daripada biopolimer KGMA.

Berdasarkan data degradasi biopolimer pada pH 1,2 yang diamati setiap 10 menit, biopolimer KGMA dan KGMAG berpotensi untuk diaplikasikan sebagai *hard capsule*. Hal ini disebabkan karena biopolimer KGMA dan KGMAG dapat mengalami degradasi pada kondisi pH 1,2 (kondisi lambung). Namun berdasarkan kecepatan degradasinya, biopolimer KGMAG lebih berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai *hard capsule* daripada biopolimer KGMA, karena biopolimer KGMAG lebih cepat terdegradasi daripada biopolimer KGMA. Kecepatan degradasi biopolimer berbanding lurus dengan kecepatan *drug release*.

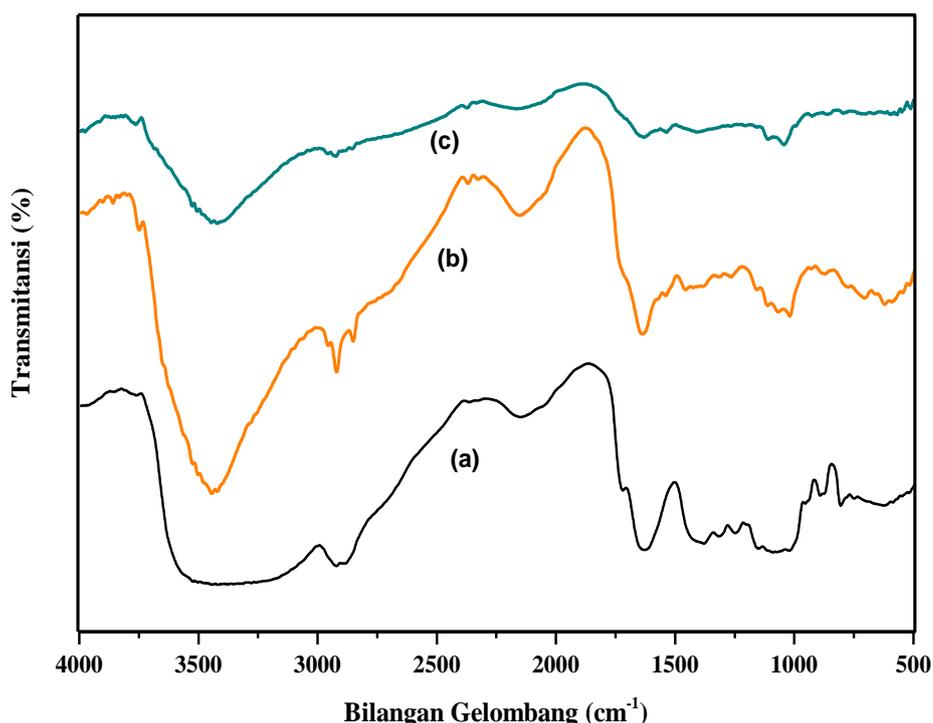
Hal ini disebabkan karena kandungan gliserin dalam formula dari biopolimer KGMAG. Gliserin dapat menurunkan kepadatan ikatan antara agar-agar dan konjac glukomannan. Sehingga dapat menyebabkan molekul-molekul HCl masuk kedalam polimer melalui pori-pori biopolimer dan mendegradasi komponen dari biopolimer KGMAG.

Tabel 4.6 Persen Biopolimer KGM, KGMA dan KGMAG yang terdegradasi pada pH = 1,2.

No.	Waktu (menit)	Pengurangan massa (%)		
		KGM	KGMA	KGMAG
1.	0-10	100	6,51	20,90
2.	10-20	-	5,24	0,83
3.	20-30	-	0,21	2,68
4.	30-40	-	2,81	3,01
5.	40-50	-	3,73	6,55
6.	50-60	-	3,31	5,80
7.	60-70	-	3,53	5,34
8.	70-80	-	10,57	12,48
9.	80-90	-	11,84	21,26
Total		100	47,74	78,85

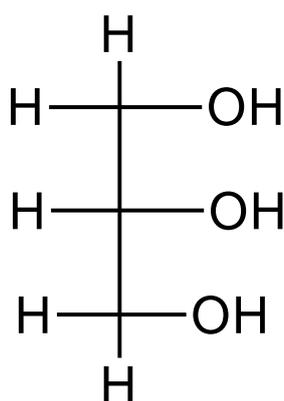
4.8 Hasil Karakterisasi Biopolimer dengan Spektrofotometer FTIR

Pengujian biopolimer KGM, KGMA dan KGMAG bertujuan untuk mengetahui perbedaan gugus fungsi yang terdapat pada ketiga biopolimer tersebut. Berdasarkan hasil pengujian seperti pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa penambahan gliserin pada biopolimer KGMAG mengakibatkan hilangnya puncak-puncak pada bilangan gelombang 1639 cm^{-1} (ikatan hidrogen), 1155 cm^{-1} (C-O, asetil), 2160 cm^{-1} (C=O, asetil) dan 1022 cm^{-1} (C-O-C, asetil).



Gambar 4.12 Spektra FTIR biopolimer (a) KGM, (b) KGMA dan (c) KGMAG

Keberadaan *plasticizer* dalam polimer KGMAG dapat dihubungkan dengan teori lubricant. *Plasticizer* mampu menyelip diantara rantai-rantai polimer-polimer penyusunnya (rantai agar-agar dan konjac glukomannan). Ketika proses pemanasan larutan polimer (rantai-rantai polimer menjadi lemah ketika dipanaskan), *plasticizer* akan masuk pada rongga diantara rantai-rantai polimer dan menutupi beberapa gugus-gugus fungsi yang terdapat pada agar-agar dan konjac glukomannan. Hal ini didukung dengan struktur gliserin pada Gambar 4.13. Molekul gliserin memiliki gugus fungsi seperti C-O (alkohol), C-C (alkana), C-H (alkana), dan O-H (alkohol).

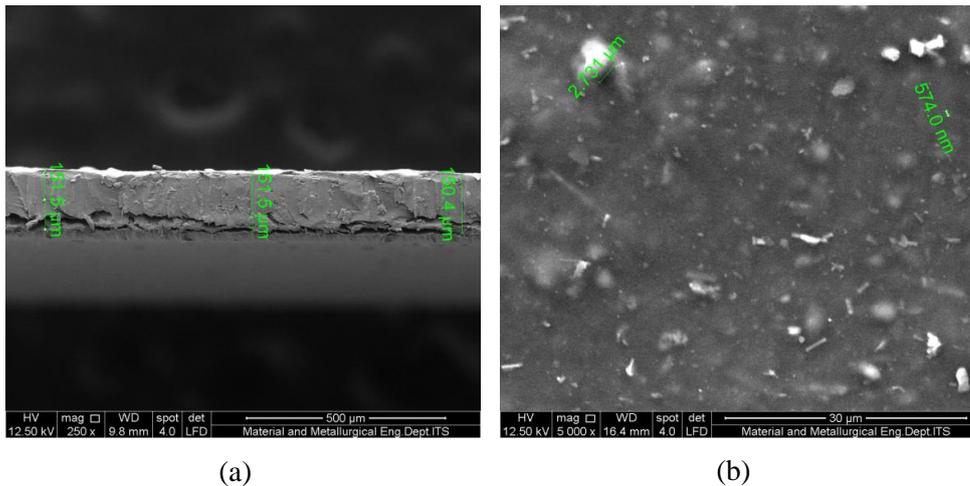


Gambar 4.13 Struktur gliserin

Berdasarkan struktur gliserin (Gambar 4.13), molekul gliserin tidak memiliki gugus fungsi karbonil. Dan bila dihubungkan dengan teori lubricant dapat diketahui bahwa gliserin (*plasticizer*) masuk (slip) pada rantai-rantai polimer (agar-agar dan konjac glukomannan) dan menutupi beberapa gugus fungsi pada polimer (konjac glukomannan dan agar-agar), sehingga gugus-gugus fungsi konjac glukomannan dan agar-agar (C=O, karbonik ; C-O-C, aetil ; C-O, aetil ; dan ikatan hidrogen) tidak muncul pada spektra FTIR seperti gambar 4.11 c.

4.9 Hasil Karakterisasi Biopolimer dengan SEM

Untuk mengetahui penampakan menampang melintang dan permukaan biopolimer *hard capsule* KG MAG, dalam penelitian ini dilakukan karakterisasi biopolimer dengan SEM (*scanning electron microscopy*). Karakterisasi biopolimer dengan SEM dilakukan melalui dua tahap yaitu tahap preparasi dan pengujian. Dalam tahap preparasi, sampel dilapisi dengan bahan yang bersifat konduktif seperti Pd-Au. Hal ini dilakukan karena biopolimer KG MAG dibuat dari bahan-bahan organik yang bersifat tidak konduktif. Adapun tahap pengujian, perbesaran yang digunakan untuk memperoleh gambar penampang melintang dan permukaan dari biopolimer KG MAG, masing-masing adalah 250x dan 5000x.



Gambar 4.14 (a) penampang melintang dan (b) permukaan biopolimer c (konjac glukomannan – agar-agar – gliserin).

Hasil pengujian penampang melintang biopolimer KGMAG pada Gambar 4.14 (a) menunjukkan bahwa biopolimer *hard capsule* KGMAG memiliki ketebalan yang seragam yaitu 151,5 μm . Proses pencetakan biopolimer *hard capsule* mempengaruhi bentuk dan ukuran ketebalan dari biopolimer. Penampakan permukaan *hard capsule* KGMAG ditunjukkan pada gambar 4.14(b). Hasil menunjukkan bahwa permukaan biopolimer tidak rata dan berpori. Pori-pori tersebut menyebabkan biopolimer ini dapat menyerap pelarut-pelarut seperti air, HCl, dan larutan buffer pada pengujian swelling dan degradasi polimer.

4.10 *Hard Capsule* KGMAG

Formulasi yang tepat antara konjac glukomannan, agar-agar dan gliserin dibuat *hard capsule* dengan proses pencetakan seperti yang dijelaskan pada subbab 3.2.4.7. Untuk mendapatkan biopolimer yang berbentuk seperti *hard capsule* komersial, alat pencetak atau *pinbar* (Gambar 4.15) dicelupkan ke dalam larutan gel konjac glukomannan – agar-agar – gliserin. Kemudian larutan gel yang menempel pada *pinbar* didinginkan pada temperatur 25°C dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 40°C selama 6 jam, sehingga diperoleh *hard capsule* seperti Gambar 4.16.



Gambar 4.15 *Pinbar* alat pencetak *hard capsule*

Alat pencetak atau *pinbar* yang digunakan dalam penelitian ini (Gambar 4.15) terbuat dari logam stainless steel. Larutan gel konjac glukomannan-agar-gliserin lebih mudah menempel pada logam stainless steel daripada logam teflon, sehingga digunakan logam stainless steel untuk membuat *pinbar*. Logam stainless steel memiliki kelebihan tidak mudah mengalami korosi.



Gambar 4.16 *Hard capsule* konjac glukomannan – agar-agar – gliserin

Hard capsule (Gambar 4.16) memiliki bentuk yang belum sempurna karena masih terdapat gelembung pada permukaannya dan ketebalannya tidak seragam. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor seperti faktor larutan gel yang tidak mudah menempel pada *pinbar* dan proses pendinginan ketika larutan gel menempel pada *pinbar*. Pada umumnya, proses pencetakan *hard capsule* di pabrik menggunakan metode celup juga, namun pada alat pencelupnya terdapat *spin* yang dapat menyebabkan alat pencelupnya dapat berputar ketika proses pendinginan, sehingga gel yang menempel dapat merata pada permukaan *pinbar*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Biopolimer *hard capsule* KGMAG dengan komposisi konjac glukomannan (1,4%), agar-agar (0,75%) dan gliserin (0,25%) merupakan biopolimer yang tepat dan memiliki sifat fisik yang sama dengan *hard capsule* komersial. Biopolimer KGMAG memiliki *tensile strength* 42,28 MPa dan *elongation break* 43,68%. Selain itu, biopolimer KGMAG tidak larut di dalam air, tetapi dapat terdegradasi dan larut sebagian di dalam larutan asam klorida (pH= 1,2), sehingga diasumsikan bahwa biopolimer KGMAG akan mengalami *drug release* saat di lambung.

5.2 Saran

Penelitian dengan topik pemanfaatan konjac glukomannan sebagai *raw material* biopolimer *hard capsule* masih dapat dikembangkan untuk mendapatkan produk *hard capsule* yang dapat dikomersialkan. Pengembangan dapat dilakukan dalam hal variasi kondisi pembuatan, variasi filler atau polimer blend (agar-agar, karagenan, xantan gum, chitosan, chitosan larut air, pectin dan lain-lain), variasi plasticizer (polietilen glikol, sorbitol, propilen glikol, dan lain-lain), serta variasi teknik pencetakannya. Sehingga penelitian ini sebenarnya dapat berkelanjutan hingga 5 tahun kedepan dengan pengembangan-pengembangan lain sehingga diperoleh produk yang siap dipatenkan dan dipasarkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hassan A. A. and Norziah M. H. (2012) Starch–gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocoll.* **26**, 108–117.
- An N. T., Thien D. T., Dong N. T., Dung P. L. and Du N. V. (2010) Characterization of glucomannan from some *Amorphophallus* species in Vietnam. *Carbohydr. Polym.* **80**, 308–311.
- Bae H. J., Cha D. S., Whiteside W. S. and Park H. J. (2008) Film and pharmaceutical hard capsule formation properties of mungbean, waterchestnut, and sweet potato starches. *Food Chem.* **106**, 96–105.
- Barham A. S., Tewes F. and Healy A. M. (2015) Moisture diffusion and permeability characteristics of hydroxypropylmethylcellulose and hard gelatin capsules. *Int. J. Pharm.* **478**, 796–803.
- Behera S. S. and Ray R. C. (2016) Konjac glucomannan, a promising polysaccharide of *Amorphophallus konjac* K. Koch in health care. *Int. J. Biol. Macromol.* **92**, 942–956.
- Bhadra S., Khastgir D., Singha N. K. and Lee J. H. (2009) Progress in preparation, processing and applications of polyaniline. *Prog. Polym. Sci.* **34**, 783–810.
- Carraher C. E. and Seymour R. B. (2003) *Seymour/Carraher's polymer chemistry*. 6th ed., rev. and expanded., M. Dekker, New York.
- Chen C.-Y., Huang Y.-C., Yang T.-Y., Jian J.-Y., Chen W.-L. and Yang C.-H. (2016a) Degradation of konjac glucomannan by *Thermobifida fusca* thermostable β -mannanase from yeast transformant. *Int. J. Biol. Macromol.* **82**, 1–6.
- Chen M., Wang H., Yan Q., Zheng Q., Yang M., Lv Z., He M., Feng L., Zhao J., Tang T. and Wu Y. (2016b) Effects of dietary oxidized konjac glucomannan sulfates (OKGMS) and acidolysis-oxidized konjac glucomannan (A-OKGM) on the immunity and expression of immune-related genes of *Schizothorax prenanti*. *Fish Shellfish Immunol.* **56**, 96–105.
- Chen Y., Zhao H., Liu X., Li Z., Liu B., Wu J., Shi M., Norde W. and Li Y. (2016c) TEMPO-oxidized Konjac glucomannan as appliance for the preparation of hard capsules. *Carbohydr. Polym.* **143**, 262–269.
- Chua M., Baldwin T. C., Hocking T. J. and Chan K. (2010a) Traditional uses and potential health benefits of *Amorphophallus konjac* K. Koch ex N.E.Br. *J. Ethnopharmacol.* **128**, 268–278.

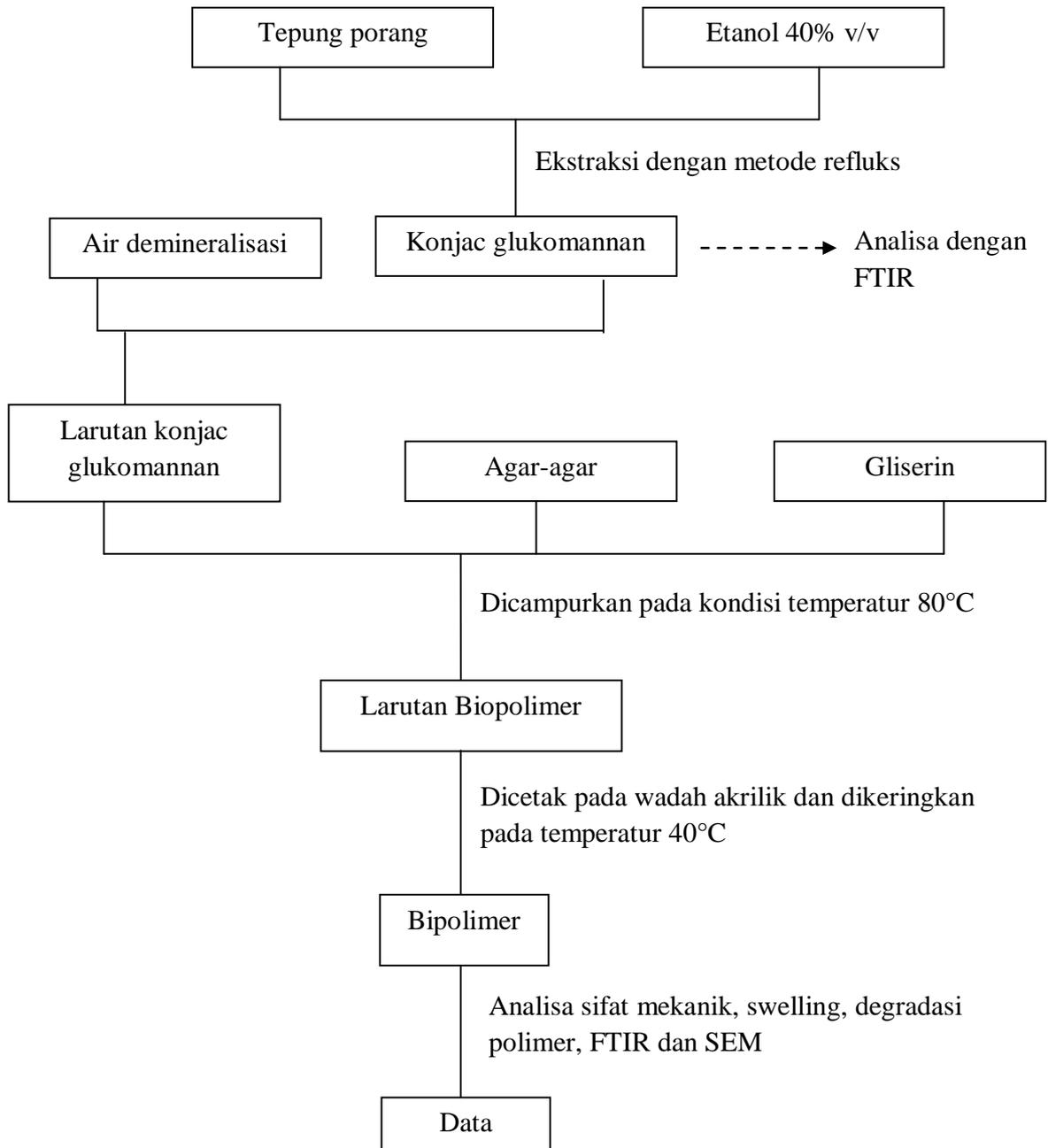
- Chua M., Baldwin T. C., Hocking T. J. and Chan K. (2010b) Traditional uses and potential health benefits of *Amorphophallus konjac* K. Koch ex N.E.Br. *J. Ethnopharmacol.* **128**, 268–278.
- Chua M., Chan K., Hocking T. J., Williams P. A., Perry C. J. and Baldwin T. C. (2012a) Methodologies for the extraction and analysis of konjac glucomannan from corms of *Amorphophallus konjac* K. Koch. *Carbohydr. Polym.* **87**, 2202–2210.
- Duconseille A., Astruc T., Quintana N., Meersman F. and Sante-Lhoutellier V. (2015) Gelatin structure and composition linked to hard capsule dissolution: A review. *Food Hydrocoll.* **43**, 360–376.
- Fan L., Yi J., Tong J., Zhou X., Ge H., Zou S., Wen H. and Nie M. (2016) Preparation and characterization of oxidized konjac glucomannan/carboxymethyl chitosan/graphene oxide hydrogel. *Int. J. Biol. Macromol.* **91**, 358–367.
- Farrin J. (2005) Biodegradable plastics from natural resources. *Inst. Technol. Rochester.*
- Harmayani E., Aprilia V. and Marsono Y. (2014) Characterization of glucomannan from *Amorphophallus oncophyllus* and its prebiotic activity in vivo. *Carbohydr. Polym.* **112**, 475–479.
- Jian W., Siu K.-C. and Wu J.-Y. (2015) Effects of pH and temperature on colloidal properties and molecular characteristics of Konjac glucomannan. *Carbohydr. Polym.* **134**, 285–292.
- Jones B. E., Basit A. W. and Tuleu C. (2012) The disintegration behaviour of capsules in fed subjects: A comparison of hypromellose (carrageenan) capsules and standard gelatin capsules. *Int. J. Pharm.* **424**, 40–43.
- Li J., Ye T., Wu X., Chen J., Wang S., Lin L. and Li B. (2014) Preparation and characterization of heterogeneous deacetylated konjac glucomannan. *Food Hydrocoll.* **40**, 9–15.
- Liu F., Zou H., Peng J., Hu J., Liu H., Chen Y. and Lu F. (2016) Removal of copper(II) using deacetylated konjac glucomannan conjugated soy protein isolate. *Int. J. Biol. Macromol.* **86**, 338–344.
- Marcano J., Hernando I. and Fiszman S. (2015) In vitro measurements of intragastric rheological properties and their relationships with the potential satiating capacity of cheese pies with konjac glucomannan. *Food Hydrocoll.* **51**, 16–22.
- Mutalib S. A., Muin N. M., Abdullah A., Hassan O., Wan Mustapha W. A., Abdullah Sani N. and Maskat M. Y. (2015) Sensitivity of polymerase chain reaction (PCR)-southern hybridization and conventional PCR

- analysis for Halal authentication of gelatin capsules. *LWT - Food Sci. Technol.* **63**, 714–719.
- Shah B. R., Li B., Wang L., Liu S., Li Y., Wei X., Weiping J. and Zhenshun L. (2015) Health benefits of konjac glucomannan with special focus on diabetes. *Bioact. Carbohydr. Diet. Fibre* **5**, 179–187.
- Tester R. and Al-Ghazzewi F. (2016) Glucomannans and nutrition. *Food Hydrocoll.*
- Verbeek C. J. R. (2012) *Products and applications of biopolymers.*, InTech, Rijeka, Croatia.
- Wang S., Zhou B., Wang Y. and Li B. (2015) Preparation and characterization of konjac glucomannan microcrystals through acid hydrolysis. *Food Res. Int.* **67**, 111–116.
- Xu W., Wang S., Ye T., Jin W., Liu J., Lei J., Li B. and Wang C. (2014a) A simple and feasible approach to purify konjac glucomannan from konjac flour – Temperature effect. *Food Chem.* **158**, 171–176.
- Yanuriati A., Marseno D. W., Rochmadi and Harmayani E. (2017b) Characteristics of glucomannan isolated from fresh tuber of Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume). *Carbohydr. Polym.* **156**, 56–63.
- Zhang C., Chen J. and Yang F. (2014) Konjac glucomannan, a promising polysaccharide for OCDDS. *Carbohydr. Polym.* **104**, 175–181.
- Zhang L., Wang Y., Liu H., Yu L., Liu X., Chen L. and Zhang N. (2013a) Developing hydroxypropyl methylcellulose/hydroxypropyl starch blends for use as capsule materials. *Carbohydr. Polym.* **98**, 73–79.
- Zhang N., Liu H., Yu L., Liu X., Zhang L., Chen L. and Shanks R. (2013b) Developing gelatin–starch blends for use as capsule materials. *Carbohydr. Polym.* **92**, 455–461.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

LAMPIRAN A: SKEMA KERJA



LAMPIRAN B: DATA HASIL ANALISA

1. Data Uji Tarik

No	Biopolimer	Sifat Mekanik	
		Tensile Strength (MPa)	Elongation Break (%)
1.	(a) konjac glukomannan	6,14	7,63
2.	(b) konjac glukomannan – agar-agar	63,37	17,5
3.	(c) Konjac glukomannan – agar-agar – gliserin	42,28	43,68

2. Data Swelling

a. Biopolimer a

Waktu (Menit)	Persentase Swelling (%)					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
10	87,94	89,20	89,11	93,00	87,80	89,41
20	89,95	89,30	90,82	93,06	88,85	90,40

b. Biopolimer b

Waktu (Menit)	Persentase Swelling (%)					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
10	82,63	82,51	82,02	83,08	82,13	82,47
20	85,73	85,61	85,19	86,14	85,53	85,64
30	87,01	86,89	86,62	87,28	86,87	86,93
40	87,56	87,75	87,34	88,22	87,84	87,74
50	88,05	88,38	87,95	88,77	88,44	88,32
60	88,38	88,91	88,49	89,24	88,96	88,80
70	88,61	89,15	88,78	89,51	89,28	89,07
80	88,75	89,45	89,00	89,72	89,50	89,29
90	88,70	89,47	89,03	89,75	89,57	89,30
100	88,92	89,75	89,26	90,04	89,85	89,56

c. Biopolimer c

Waktu (Menit)	Persentase Swelling (%)					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
10	80,12	77,06	77,66	80,37	78,36	78,71
20	84,18	81,69	82,42	84,53	83,05	83,17
30	86,22	83,81	84,52	86,39	85,05	85,20
40	87,30	84,94	85,83	87,56	86,33	86,39
50	88,07	85,94	86,69	88,27	87,16	87,23
60	88,57	86,49	87,15	88,70	87,60	87,70
70	89,12	87,18	87,76	89,23	88,15	88,29
80	89,51	87,55	88,16	89,64	88,65	88,70
90	89,72	87,81	88,39	89,64	88,99	88,91
100	90,03	88,15	88,74	89,86	89,30	89,22

3. Data Degradasi Pada Variasi pH

a. Biopolimer a

pH	Persentase Swelling (%)					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
1,2	100	100	100	100	100	100
4,5	100	100	100	100	100	100
6,8	100	100	100	100	100	100

b. Biopolimer b

pH	Persentase Swelling (%)					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
1,2	24,61	28,77	16,56	23,55	14,92	21,68
4,5	2,34	2,12	3,68	2,15	1,64	2,38
6,8	5,71	1,28	1,40	1,44	0,71	2,11

c. Biopolimer c

pH	Persentase Swelling (%)					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
1,2	39,18	39,45	29,92	27,01	32,13	33,54
4,5	2,24	2,02	3,70	2,12	3,72	2,76
6,8	4,52	2,94	1,84	5,54	3,45	3,66

4. Data Pengurangan Massa pada pH = 1,2

a. Biopolimer a

Biopolimer (a) larut sempurna di dalam larutan HCl 5% (pH = 1,2) pada temperatur $37 \pm 3^\circ\text{C}$.

b. Biopolimer b

Waktu (Menit)	Persentase Swelling (%)					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
0	100	100	100	100	100	100
10	92,69	92,48	91,01	96,94	94,30	93,49
20	91,67	91,25	87,06	86,73	84,55	88,25
30	91,79	92,32	87,11	83,67	85,34	88,05
40	90,02	82,85	84,70	85,16	83,43	85,23
50	89,08	82,26	88,06	76,35	71,74	81,50
60	88,27	75,27	76,97	76,34	74,12	78,19
70	81,91	76,12	69,59	71,98	73,74	74,67
80	65,57	64,40	68,64	67,29	54,57	64,09
90	57,81	60,80	62,04	43,61	37,03	52,26

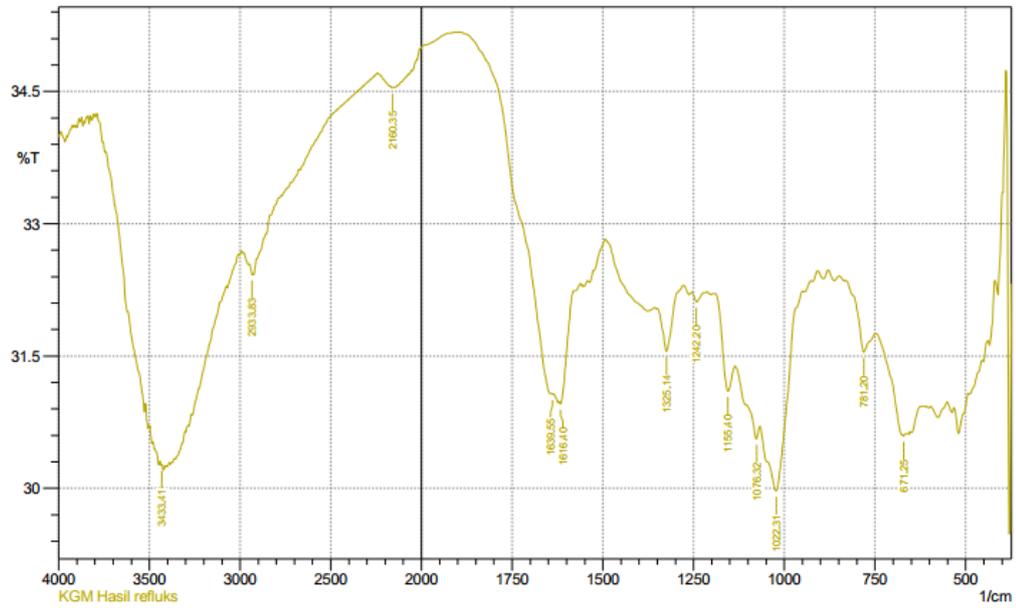
c. Biopolimer c

Waktu (Menit)	Persentase Swelling (%)					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
0	100	100	100	100	100	100
10	79,63	83,85	83,18	71,38	77,44	79,10
20	79,62	84,02	77,99	72,69	77,01	78,27
30	79,38	79,96	74,27	72,61	71,72	75,59
40	77,28	81,14	75,58	64,86	64,02	72,58
50	71,33	65,88	65,28	64,65	63,01	66,03
60	61,17	64,74	62,75	52,12	60,37	60,23
70	57,27	62,73	59,11	45,06	50,28	54,89
80	42,11	57,50	43,10	40,65	28,68	42,41
90	15,75	23,09	27,90	18,63	20,36	21,15

5. Data FTIR

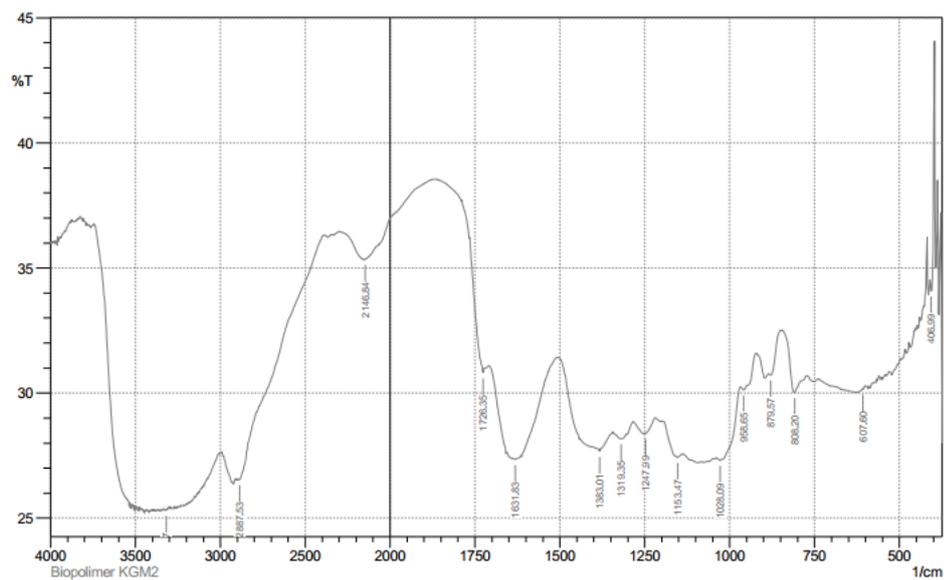
a. Konjac Glukomannan hasil ekstraksi dari umbi porang

SHIMADZU



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	671.25	30.591	0.023	675.11	665.46	4.959	0.002
2	781.2	31.545	0.457	831.35	746.48	42.117	0.182
3	1022.31	29.97	1.32	1066.67	950.94	59.101	0.974
4	1076.32	30.56	0.236	1136.11	1066.67	35.382	0.102
5	1155.4	31.103	0.555	1193.98	1136.11	28.969	0.171
6	1242.2	32.116	0.108	1255.7	1213.27	20.896	0.026
7	1325.14	31.553	0.578	1350.22	1278.85	35.368	0.214
8	1616.4	30.957	0.148	1620.26	1577.82	21.236	0.011
9	1639.55	31.064	0.039	1890.3	1637.62	119.762	-1.709
10	2160.35	34.54	0.029	2243.29	2148.77	43.55	0.018
11	2933.83	32.423	0.032	2947.33	2929.97	8.48	0.003
12	3433.41	30.262	0.005	3435.34	3431.48	2.002	0

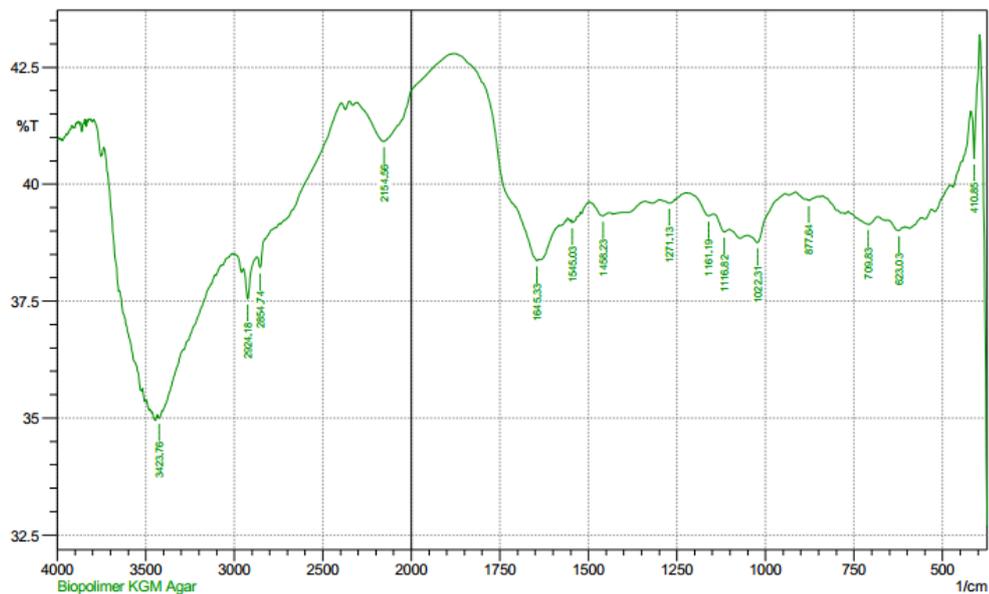
b. Biopolimer konjac glukomannan



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	406.99	34.086	2.035	408.92	397.35	5.106	0.375
2	607.6	30.153	0.042	609.53	599.88	5.012	0.002
3	808.2	30.018	1.582	844.85	771.55	37.365	0.68
4	879.57	30.727	0.334	885.36	850.64	17.442	0.084
5	958.65	30.125	0.359	966.37	922	22.825	0.204
6	1028.09	27.311	0.069	1039.67	1020.38	10.86	0.01
7	1153.47	27.43	0.08	1159.26	1139.97	10.82	0.013
8	1247.99	28.386	0.079	1251.84	1219.05	17.808	0.031
9	1319.35	28.176	0.228	1344.43	1303.92	22.227	0.093
10	1383.01	27.673	0.414	1406.15	1344.43	34.152	0.183
11	1631.83	27.347	0.032	1633.76	1614.47	10.845	0.009
12	1726.35	30.815	0.419	1764.93	1724.42	19.602	0.364
13	2146.84	35.342	0.015	2148.77	2067.76	36.326	0.028
14	2887.53	26.539	0.132	2893.32	2395.67	248.895	0.065
15	3317.67	25.32	0.074	3323.46	3304.17	11.492	0.015

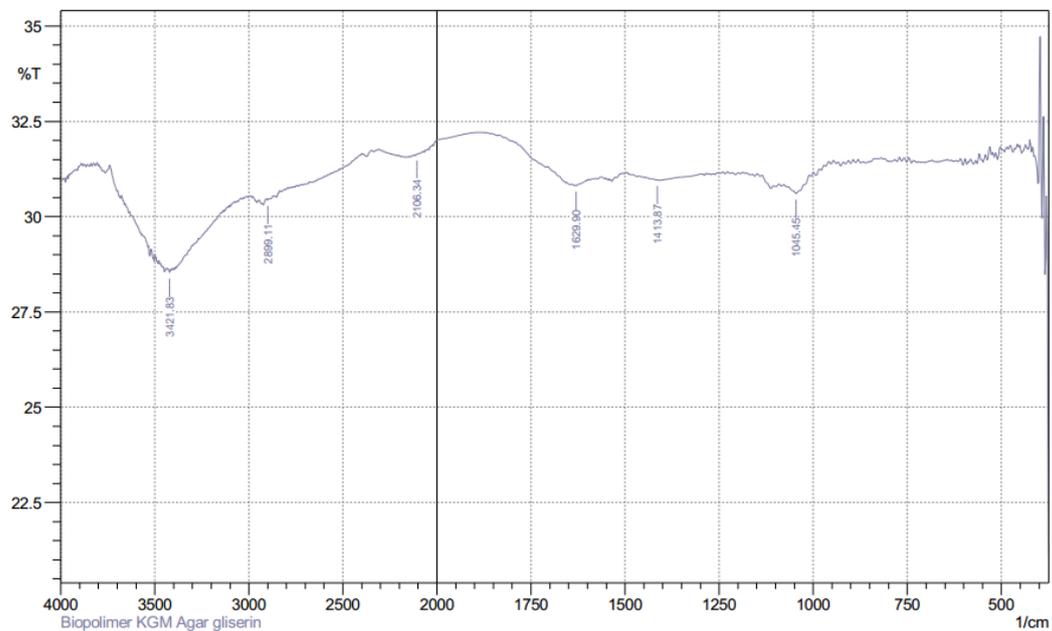
c. Biopolimer KGM – agar-agar

SHIMADZU



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	410.85	40.546	1.64	420.5	395.42	9.529	0.177
2	623.03	39.007	0.136	655.82	605.67	20.454	0.037
3	709.83	39.142	0.196	767.69	682.82	34.47	0.1
4	877.64	39.655	0.042	887.28	852.56	13.934	0.008
5	1022.31	38.755	0.388	1051.24	943.22	43.848	0.093
6	1116.82	38.98	0.166	1145.75	1101.39	18.082	0.036
7	1161.19	39.323	0.136	1215.19	1145.75	27.975	0.026
8	1271.13	39.594	0.086	1284.63	1224.84	23.998	0.027
9	1458.23	39.323	0.131	1498.74	1442.8	22.6	0.04
10	1545.03	39.177	0.082	1548.89	1521.89	10.963	0.016
11	1645.33	38.363	0.096	1880.66	1641.48	93.072	-0.744
12	2154.74	40.917	0.504	2308.87	2077.4	89.025	0.619
13	2854.74	38.215	0.361	2874.03	2789.16	35.012	0.055
14	2924.18	37.551	0.719	2947.33	2874.03	30.749	0.212
15	3423.76	34.998	0.058	3429.55	3408.33	9.661	0.01

d. Biopolimer – agar-agar – gliserin



	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	1045.45	30.611	0.095	1078.24	1037.74	20.768	0.023
2	1413.87	30.962	0.004	1427.37	1411.94	7.854	0
3	1629.9	30.814	0.026	1633.76	1597.11	18.7	0.007
4	2106.34	31.634	0.006	2108.27	2096.69	5.783	0
5	2899.11	30.452	0.007	2901.04	2893.32	3.983	0
6	3421.83	28.529	0.093	3427.62	3416.05	6.294	0.007

BIODATA PENULIS



Widia Rachmawati dilahirkan di desa Nglampin Kabupaten Bojonegoro pada tanggal 10 Oktober 1994, putrid pertama dari 2 bersaudara. Pendidikan dasar ditempuh di SDN Kenongorejo 2 Pilang kencana, tamat tahun 2006. Pendidikan selanjutnya ditempuh di SMPN 1 Gemarang dari tahun 2006 – 2009. Dan pada tahun 2009 – 2012, penulis menempuh pendidikan di SMAN 1 Mejayan. Pada tahun 2012 – 2016 penulis menempuh pendidikan sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN. Selama menempuh pendidikan sarjana, penulis juga mengikuti kegiatan magang di PT.Bayer Crop-Science, Rungkut Surabaya. Dan pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan program magister di departemen kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.