



TUGAS AKHIR – TL184834

**REVIEW PENGARUH PARAMETER REAKSI SINTESIS
TERHADAP KARAKTERISTIK CMC DAN CMS UNTUK
APLIKASI POLIMER SUPERABSORBEN DARI BAHAN ALAM**

**RIA NATASHA
NRP. 02511640000086**

**Dosen Pembimbing
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR – TL 184834

**REVIEW PENGARUH PARAMETER REAKSI SINTESIS
TERHADAP KARAKTERISTIK CMC DAN CMS UNTUK
APLIKASI POLIMER SUPERABSORBEN DARI BAHAN
ALAM**

RIA NATASHA
NRP. 02511640000086

Dosen Pembimbing
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 184834

**THE EFFECT OF SYNTHESIS REACTION
PARAMETERS TO CMC AND CMS CHARACTERISTICS
FOR NATURAL BASED SUPERABSORBENT POLYMER
APPLICATION: REVIEW**

RIA NATASHA
NRP. 02511640000086

Supervisor
Amaliya Rasyida, ST., M.Sc.
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

**REVIEW PENGARUH PARAMETER REAKSI SINTESIS
TERHADAP KARAKTERISTIK CMC DAN CMS UNTUK
APLIKASI POLIMER SUPERABSORBEN DARI BAHAN
ALAM**


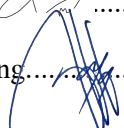
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RIA NATASHA
NRP 0251164000086

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc... (Pembimbing I)
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.....  (Pembimbing II)



SURABAYA
Agustus 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REVIEW PENGARUH PARAMETER REAKSI SINTESIS TERHADAP KARAKTERISTIK CMC DAN CMS UNTUK APLIKASI POLIMER SUPERABSORBEN DARI BAHAN ALAM

Nama : Ria Natasha
NRP : 0251164000086
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

Abstrak

Pati dan selulosa merupakan biopolimer yang ketersediaannya melimpah di alam. Pada sintesis superabsorbent polymer (SAP), pati dan selulosa dimodifikasi menjadi bentuk karboksimetil untuk meningkatkan sifat hidrofilitasnya. Telah dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter reaksi pada proses sintesis carboxymethyl cellulose (CMC) dan carboxymethyl starch (CMS). Dari analisis didapatkan bahwa bahwa parameter reaksi berpengaruh penting terhadap gugus fungsi dan nilai derajat substitusi (DS) CMC dan CMS sebagai kriteria yang dibutuhkan untuk sintesis SAP, juga dengan keefisienan reaksinya. Nilai DS optimum dicapai pada penelitian penggunaan parameter reaksi NaOH 25% (DS=0,821) dan temperatur 45 °C (DS=0,821) telah memenuhi SNI 06-3736-1995, serta keberadaan gugus COO⁻ pada frekuensi 1605 cm⁻¹ melalui spektrum inframerah sebagai indikasi keberhasilan proses karboksimetilasi sehingga sesuai digunakan sebagai material dalam sintesis SAP. Sedangkan penelitian menggunakan reagen eterifikasi 7 gram (DS=1,403) dan waktu reaksi 240 menit (DS=1,197) tidak memenuhi SNI 06-3736-1995 sehingga belum sesuai dijadikan sebagai material dalam sintesis SAP.

Kata Kunci: *Biopolimer, Derajat Substitusi, Karboksimetil, Parameter Reaksi, Polimer Superabsorben.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**THE EFFECT OF SYNTHESIS REACTION
PARAMETERS TO CMC AND CMS CHARACTERISTICS
FOR NATURAL-BASED SUPERABSORBENT POLYMER
APPLICATION: REVIEW**

Student Name : Ria Natasha
NRP : 0251164000086
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Supervisor : Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.
Co-Supervisor : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

Abstract

Cellulose and starch are ones of biopolymers which abundantly occur in nature. Relating to superabsorbent polymer (SAP) synthesis, cellulose and starch are modified into carboxymethyl form in order to improve its hydrophilicity. A literature study has been generated to analyze the reaction parameters effect used in the carboxymethyl cellulose (CMC) and carboxymethyl starch (CMS) synthesis. The result of this study shows that reaction parameters play important role to influence the functional group and the degree of substitution (DS) of CMC and CMS produced as important criterias for SAP synthesis, also for their reaction efficiency. The optimum DS values obtained in the studies with 25% NaOH (DS=0,821) and 45 °C reaction temperature (DS=0,821) fit the SNI 06-3736-1995, also the presence of COO⁻ group at 1605 cm⁻¹ through the infrared spectrum indicating that carboxymethylation process had succesfully done, thus make them suitable for SAP synthesis material. While the studies with the addition of 7 grams etherification agent (DS=1,403) and 240 minutes reaction period (DS=1,197) does not fit the SNI 06-3736-1995, so it is not suitable yet for SAP synthesis materials.

Keywords: *Biopolymers, Degree of Substitution, Carboxymethyl, Reaction Parameters, Superabsorbent Polymers.*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas limpahan berkat serta rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan rangkaian penyusunan Tugas Akhir dengan judul **“Review Pengaruh Parameter Reaksi Sintesis Terhadap Karakteristik CMC dan CMS untuk Aplikasi Polimer Superabsorben dari Bahan Alam”** dengan baik. Adapun laporan ini disusun dan diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem (FTIRS) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Telah terselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini tidak luput oleh pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan dan dukungan kepada penulis. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah Bapa Yang Maha Kuasa atas segala berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan pengerjaan Laporan Tugas Akhir,
2. Kedua Orang Tua, Eddy Pranoto dan juga Sri Ramadan Yanti yang selalu memberikan dukungan baik moral, spiritual, maupun materiil kepada penulis,
3. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah membimbing, mendukung, dan membantu penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir,
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, bantuan, dan masukkan dalam kepada penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir,
5. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph. D., selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS,
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc., selaku Kepala Program Studi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS.

7. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.Sc., selaku dosen wali yang telah membimbing dan membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS.

Dalam proses pengerjaannya, penulis menyadari dengan keterbatasan ilmu yang dimiliki, laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis terbuka atas segala kritik dan saran yang membangun dari para pembaca agar penulis dapat berkembang lebih baik kedepannya.

Demikian Laporan Tugas Akhir ini penulis susun dengan harapan agar laporan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca maupun penulis sendiri. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, 11 Agustus 2020
Penulis

Ria Natasha

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan <i>Review</i>	4
1.4 Tujuan <i>Review</i>	4
1.5 Manfaat <i>Review</i>	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Popok Sekali Pakai	7
2.2 Polimer Superabsorben.....	10
2.3 Selulosa dan Pati	14
2.4 Sintesis CMC dan CMS	16
BAB III METODOLOGI <i>REVIEW</i>	
3.1 Diagram Alir <i>Review</i>	23
3.2 Bahan dan Metode	25
3.3 Pengujian	27
3.3.1 Pengujian <i>Fourier-Transform Infrared</i> (FTIR)	28
3.3.2 Penentuan Derajat Substitusi (DS)	29
3.3.3 Perhitungan Efisiensi Reaksi (RE)	30
3.4 Ruang Lingkup Pembahasan	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Data	35
4.1.1 Penambahan Reagen Alkalisasi (NaOH).....	35
4.1.2 Penambahan Reagen Eterifikasi	40
4.1.3 Variasi Waktu Reaksi	47

4.1.4	Variasi Temperatur Reaksi.....	52
4.2	Pembahasan	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran	62
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN.....		75
UCAPAN TERIMA KASIH.....		89
BIODATA PENULIS.....		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Komposisi popok sekali pakai dalam wt%.....	9
Gambar 2. 2	Mekanisme interaksi hidrasi pada SAP.....	11
Gambar 2. 3	Perbedaan rantai polimer yang mengalami <i>cross-link</i> dan yang tidak mengalami <i>cross-link</i>	12
Gambar 2. 4	Perbedaan partikel yang mengalami <i>cross-link</i> dan yang tidak mengalami <i>cross-link</i>	13
Gambar 2. 5	Struktur rantai polimer selulosa.....	14
Gambar 2. 6	Struktur dasar dari (a) unit glukosa; (b) amilosa; dan (c) amilopektin.....	15
Gambar 2. 7	Rasio pembengkakan hidrogel CMC/selulosa dengan <i>epichlorohydrin</i> sebagai <i>cross-linker</i>	18
Gambar 2. 8	Skema reaksi sintesis CMC.	21
Gambar 3. 1	Diagram alir penelitian.	24
Gambar 4. 1	(a) Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap nilai DS CMC dan CMS berbahan dasar alam dalam % ; (b) Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap nilai DS CMS berbahan dasar alam dalam mol/mol AGU.....	38
Gambar 4. 2	Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap efisiensi reaksi sintesis CMS berbahan dasar pati (Fachrudin, 2017).....	39
Gambar 4. 3	Pengaruh jumlah SMCA sebagai reagen eterifikasi terhadap nilai DS CMC berbahan dasar alam.....	42
Gambar 4. 4	Pengaruh jumlah reagen eterifikasi terhadap efisiensi reaksi pada CMS berbahan dasar pati sagu	46
Gambar 4. 5	Spektrum FTIR sampel CMS berbahan dasar pati sagu (CMSS 1, 60 menit; CMSS 2, 130 menit; CMSS 3, 180 menit, CMSS 4, 240 menit)	49

Gambar 4. 6	Pengaruh waktu reaksi terhadap nilai DS CMC dan CMS berbahan dasar alam.....	50
Gambar 4. 7	Pengaruh waktu reaksi terhadap efisiensi reaksi pada CMS berbahan dasar pati sagu	51
Gambar 4. 8	Pengaruh temperatur reaksi terhadap nilai DS CMC berbahan dasar alam.	54
Gambar 4. 9	Pengaruh temperatur reaksi terhadap efisiensi reaksi pada CMS berbahan dasar pati kentang.	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komparasi popok sekali pakai dan popok kain.....	7
Tabel 2. 2 Standardisasi CMC komersial.....	20
Tabel 3. 1 Bahan dan metode.	25
Tabel 3. 2 Spektrum inframerah selulosa/pati.....	28
Tabel 3. 3 Spektrum inframerah CMC dan CMS.....	29
Tabel 3. 4 Ruang lingkup pembahasan.	31
Tabel 4. 1 Hasil uji FTIR sampel CMC dan CMS berbahan dasar alam terkait penelitian penambahan reagen alkalisasi	36
Tabel 4. 2 Hasil uji FTIR sampel CMC dan CMS berbahan dasar alam terkait penelitian penambahan reagen eterifikasi	41
Tabel 4. 3 Pengaruh jumlah reagen eterifikasi terhadap nilai DS CMC dan CMS berbahan dasar alam.....	42
Tabel 4. 4 Hasil uji FTIR sampel CMC dan CMS berbahan dasar alam terkait penelitian variasi waktu reaksi	47
Tabel 4. 5 Hasil uji FTIR sampel CMC dan CMS berbahan dasar alam terkait penelitian variasi temperatur reaksi.....	53
Tabel 4. 6 Hasil analisis parameter reaksi sintesis dengan nilai DS CMC dan CMS tertinggi.....	57
Tabel 4. 7 Penentuan parameter reaksi sintesis CMC dan CMS hasil analisis dengan kesesuaian kriteria material superabsorben.....	60

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan sampah merupakan hal yang menjadi sorotan utama yang terus dibahas karena dampaknya yang krusial terhadap kondisi bumi yang semakin memburuk seiring dengan berjalannya waktu. Popok sekali pakai merupakan jenis popok yang paling banyak digunakan dan menguasai pasar dunia, yaitu sekitar 95% (Edana, 2008). Riset *Ecological Observation and Wetlands Conservation* (Ecoton) mengatakan 37% sampah di sungai Kota Surabaya adalah berasal dari popok bayi sekali pakai. Badan Pusat Statistik (BPS) Jawa Timur menunjukkan terdapat 2.870.423 bayi berumur 0 hingga 4 tahun di Jawa Timur *update* 31 Januari 2018 (Badan Pusat Statistik, 2018). Setiap bayi rata-rata memakai 4 popok sehari sehingga diperkirakan 3,2 juta popok digunakan setiap harinya. Menurut Ecoton, setiap tahunnya 6 miliar buah popok diproduksi di Indonesia (*Ecological Observation and Wetlands Conservation*, 2019). Popok bayi sekali pakai mengandung senyawa kimia yang disebut *superabsorbent polymer* (SAP) (Zohuriaan-Mehr & Kabiri, 2008). Menurut Indonesia *Water Community of Practice*, SAP yang sekarang banyak digunakan dalam popok dihasilkan dari minyak bumi sehingga dikhawatirkan mengandung senyawa toksin. Bahan kimia penyusun popok sekali pakai diantaranya adalah *polyacrylate granule* dan *fiber* yang berasal dari plastik hidrokarbon, selulosa atau sintesis *pulp*, dan pewangi *polychlorine dibenzodioxins* (Indonesia *Water Community of Practice*, 2017). Adanya bahan kimia tersebut menyebabkan popok sekali pakai membutuhkan 450 tahun di untuk didegradasi di laut dan 500 tahun di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). SAP berbahan *sodium polyacrylate* masih kerap dijumpai di lingkungan walaupun sudah dibuat derivatif secara pirolisis dalam bentuk *sodium polyacrylate* (Buzanowski, *et al.*, 1994). Senyawa-senyawa tersebut menjadi berbahaya bagi lingkungan. Berdasar dari data yang ada terkait

permasalahan popok sekali pakai dan penyebabnya, perlu dilakukan langkah solutif untuk mengurangi permasalahan tersebut dengan melakukan penelitian terkait material pengganti pakai yang dapat mudah terurai oleh bakteri alami sehingga ramah bagi lingkungan sebagai alternatif bahan dasar SAP popok sekali.

Beberapa peneliti telah melakukan studi terkait sintesis SAP berbasis biopolimer, seperti selulosa dan pati maupun bentuk turunan dari keduanya. Hal ini dikarenakan selulosa dan pati dikenal memiliki beberapa keunggulan seperti hidrofilitasnya yang tinggi, dapat terbarukan, mampu terdegradasi, serta tidak beracun. Meskipun demikian, selulosa dan pati dalam bentuk murninya dikenal memiliki beberapa kekurangan, sehingga perlu dilakukan modifikasi agar memiliki karakteristik sesuai dengan yang diinginkan. Terdapat beberapa cara untuk melakukan modifikasi terhadap selulosa dan pati, salah satunya adalah modifikasi secara kimia dengan melibatkan reaksi gugus hidroksil pada unit anhidroglukosa (AGU) dari selulosa atau pati dengan reaksi eterifikasi, atau yang dikenal dengan karboksimetilasi, dimana pada akhirnya menghasilkan turunan dari selulosa ataupun pati, yaitu *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) (Nordin, *et al.*, 2018).

Dalam proses sintesis CMC dan CMS, terdapat dua tahapan utama, yaitu alkalisasi yang merupakan proses aktivasi gugus hidroksil pada selulosa atau pati, dan eterifikasi yang merupakan proses substitusi gugus hidroksil pada selulosa atau pati dengan gugus eter, dalam hal CMC merupakan gugus karboksil dari reagen eterifikasi yang bersifat hidrofilik (Sangseethong, *et al.*, 2018). Beberapa parameter reaksi memiliki pengaruh terhadap hasil akhir CMC dan CMS terkait, seperti penambahan reagen alkalisasi, temperatur reaksi, waktu reaksi, serta penambahan eterifikasi (Yanli, *et al.*, 2009). Hal ini dapat terjadi dikarenakan terdapat beberapa aspek yang juga turut berubah seiring dengan perubahan pada parameter tersebut. Derajat substitusi (DS) merupakan salah satu aspek yang perubahannya memiliki dampak signifikan terhadap produk akhir reaksi. DS pada CMC ataupun CMS

memiliki peranan penting karena nilai DS dapat menunjukkan kualitas dari CMC dan CMS yang terbentuk sebelum pada akhirnya dapat dilanjutkan sebagai bahan dasar pembuatan polimer superabsorben.

Penggunaan parameter reaksi penting untuk diperhatikan dalam proses modifikasi selulosa sehingga dapat ditentukan bagaimana kondisi reaksi yang paling sesuai sehingga dapat menghasilkan CMC atau CMS sesuai karakteristik yang diinginkan dengan hasil yang optimal. Oleh karena itu, pada *review* ini dilakukan analisis data hasil beberapa penelitian terkait pengaruh parameter reaksi yang digunakan pada proses sintesis terhadap karakteristik CMC dan CMS yang dihasilkan, guna mengetahui kondisi optimum reaksi yang dapat terjadi untuk kemudian diaplikasikan pada proses pembuatan polimer superabsorben dari bahan alam.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang permasalahan yang ada, maka dapat ditarik rumusan dari studi literatur ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh parameter reaksi yang digunakan pada proses sintesis terhadap gugus fungsi *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) untuk aplikasi polimer superabsorben dari bahan alam?
2. Bagaimana pengaruh parameter reaksi yang digunakan pada proses sintesis terhadap nilai derajat substitusi (DS) *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) untuk aplikasi polimer superabsorben dari bahan alam?
3. Bagaimana pengaruh parameter reaksi yang digunakan pada proses sintesis terhadap efisiensi reaksi sintesis *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) untuk aplikasi polimer superabsorben dari bahan alam?

4. Bagaimana kondisi optimum reaksi sintesis *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) untuk aplikasi polimer superabsorben dari bahan alam?

1.3 Batasan Review

Dalam penyusunan *review* ini, terdapat beberapa faktor yang pengaruhnya tidak dapat dikontrol selama studi literatur berlangsung sehingga perlu adanya upaya untuk membatasi ruang lingkup agar permasalahan tidak terlalu luas sehingga *review* dapat lebih fokus untuk dilakukan. Oleh karena itu, pada *review* ini diambil batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Komposisi tiap bahan dasar (pati dan selulosa) diabaikan,
2. Massa bahan dasar alam (pati dan selulosa) yang digunakan diabaikan,
3. Penggunaan jenis pelarut pada reaksi diabaikan,
4. Penggunaan jenis reagen eterifikasi diabaikan,
5. Proses dan metode pada sintesis polimer superabsorben tidak dibahas.

1.4 Tujuan Review

Berdasar pada rumusan permasalahan yang diambil seperti tertulis di atas, adapun dilakukannya *review* ini bertujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh parameter reaksi yang digunakan pada proses sintesis terhadap gugus fungsi *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) untuk aplikasi polimer superabsorben dari bahan alam,
2. Menganalisis pengaruh parameter reaksi yang digunakan pada proses sintesis terhadap nilai derajat substitusi (DS) *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) untuk aplikasi polimer superabsorben dari bahan alam,
3. Menganalisis pengaruh parameter reaksi yang digunakan pada proses sintesis terhadap efisiensi reaksi sintesis *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch*

- (CMS) untuk aplikasi polimer superabsorben dari bahan alam,
4. Menganalisis dan menentukan kondisi optimum reaksi sintesis *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) untuk aplikasi polimer superabsorben dari bahan alam.

1.5 Manfaat Review

Pada *review* ini diharapkan akan menghasilkan beberapa manfaat dengan dianalisisnya pengaruh variabel proses pada sintesis *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) sehingga menentukan kondisi optimum reaksi yang sesuai untuk pembuatan polimer superabsorben ramah lingkungan berbahan dasar alam yang dapat mengurangi pemakaian polimer sintesis dalam kehidupan sehari-hari yang berdampak pada pencemaran lingkungan akibat polimer sintesis *non-biodegradable* yang terkandung dalam popok sekali pakai dan juga dapat mengurangi biaya produksi popok sekali pakai dan biaya pengolahan limbah hasil produksi popok sekali pakai pada industri. Selain itu, dengan adanya *review* ini diharapkan dapat memberi wawasan kepada masyarakat bahwa pembuatan polimer superabsorben berbahan alami mampu menambah nilai tambah dari sumber daya yang tersedia di alam.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Popok Sekali Pakai

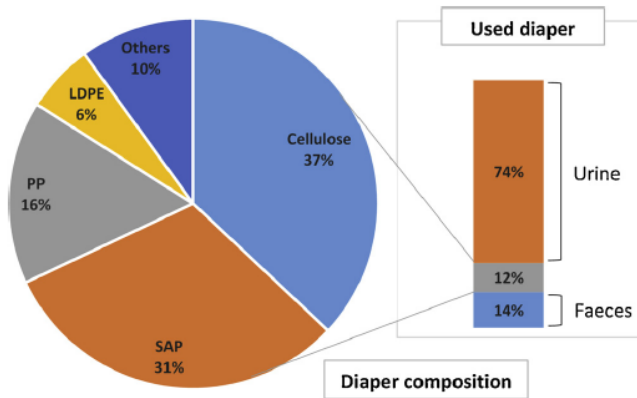
Popok sekali pakai adalah produk yang didesain untuk menyerap dan menyimpan urin dan feses (Budyk & Fullana, 2019). Fitur pencegahan kebocoran adalah aspek penting dari popok sekali pakai. Kebocoran feses dan urin pada popok konvensional atau popok yang dipakai berulang memungkinkan terjadinya kontaminasi yang terjadi pada tangan bayi dan pengasuh serta benda-benda yang ada di sekitarnya. Penggunaan popok sekali pakai memiliki keunggulan yang ditawarkan, yaitu dapat menurunkan kelembaban kulit bayi dan dapat mempertahankan pH normal dibandingkan popok konvensional sehingga dapat mencegah pertumbuhan mikroorganisme (Campbell, *et al.*, 1987). Komparasi popok sekali pakai terhadap popok kain disajikan pada **Tabel 2. 1**. Popok sekali pakai modern dirancang untuk memiliki fitur pencegahan kebocoran secara maksimal sehingga menjaga kebersihan di sekitar bayi (Kamat & Malkani, 2003).

Tabel 2. 1 Komparasi popok sekali pakai dan popok kain (Kamat & Malkani, 2003)

	Popok sekali pakai	Popok kain konvensional
Penampungan kotoran	Pelindung sisi samping menahan dari kebocoran urin atau feses	Bentuk longgar memicu terjadinya kebocoran urin atau feses
Pelindung	Pelindung bagian luar mampu menahan urin dan feses	Tidak tahan terhadap cairan karena bentuk yang umumnya longgar dan tidak memiliki

	Popok sekali pakai	Popok kain konvensional
		pelindung di sisi-sisinya
Penyerapan	Material superabsorben menyerap cairan agar popok dapat kering	Tidak ada material superabsorben sehingga popok akan tetap basah

Analisis pada pembuangan feses menunjukkan bahwa kandungan feses dalam berat adalah sekitar 192 gram per popok sekali pakai, dimana sebesar 18% adalah feses dan 82% adalah urin (*Agency Environment, 2008*). Salah satu komponen penting dalam popok sekali pakai adalah *superabsorbent polymer* (SAP) yang berperan dalam penyerapan dan penyimpanan cairan yang mampu mencegah terjadinya kebocoran (Shanmugasundaram & Gowda, 2011). SAP yang terkandung dalam popok sekali pakai terdiri dari granular *sodium polyacrylate* ($C_3H_3NaO_2$) yang diperoleh dari minyak bumi. Granular SAP memiliki kemampuan meningkatkan kapasitas penyerapan hingga 300 kali dari berat asalnya serta dapat menahannya dalam bentuk gel (Wambui, *et al.*, 2015). **Gambar 2.1** menunjukkan komposisi popok sekali pakai dalam wt%.



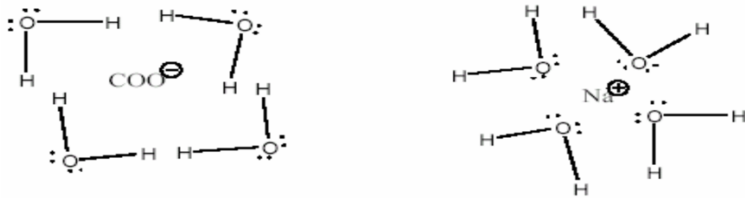
Gambar 2.1 Komposisi popok sekali pakai dalam wt% (Edana, 2008).

Meskipun popok sekali pakai menawarkan berbagai keunggulan yang dimiliki dibandingkan dengan popok konvensional, namun popok sekali pakai memiliki kelemahan yang berdampak besar bagi lingkungan dalam jangka waktu panjang. Adanya *sodium polyacrylate* ($C_3H_3NaO_2$) dan fiber yang berasal dari plastik hidrokarbon sebagai material utama yang digunakan dalam proses pembuatan SAP pada popok sekali pakai membuat SAP memiliki sifat yang sulit untuk terurai dan bahkan membutuhkan waktu 450 tahun untuk dapat terdegradasi laut dan 500 tahun di tempat pembuangan akhir (TPA). Selain itu, *sodium polyacrylate* ($C_3H_3NaO_2$) berasal dari minyak bumi, dimana minyak bumi sendiri masuk ke dalam kategori sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui (Sharhanis, *et al.*, 2011). SAP berbasis *polyacrylate* juga dapat menjadi permasalahan serius dalam dalam aplikasinya pada produk perawatan diri dan juga *drug delivery* karena mengandung senyawa beracun dan karsinogen (Buchanan, *et al.*, 1986).

2.2 Polimer Superabsorben

Polimer berasal dari bahasa Yunani dimana *poly* berarti “banyak” dan *meres* berarti “unit”, dengan begitu polimer dapat diartikan sebagai suatu molekul besar (makromolekul) yang tersusun atas unit-unit kimia berulang (Ebewele, 2000). Kesatuan dari unit-unit berulang yang menyusun suatu polimer disebut dengan monomer. Polimer memiliki ciri utamanya, yaitu rantainya yang sangat panjang dan massa molekulnya yang sangat besar (Stevens, 2001). Suatu molekul dapat dijadikan polimer dengan mengkombinasikannya bersama molekul lain yang memiliki jenis sama ataupun berbeda. Beberapa polimer berasal dari reaksi bersama dua atau lebih monomer yang secara kimia memiliki sifat yang serupa namun tidak identik (Ebewele, 2000).

Superabsorbent polymer (SAP) merupakan material yang dapat menyerap cairan dalam jumlah yang signifikan. SAP yang telah menyerap cairan kemudian membentuk hidrogel superabsorben yang merupakan matriks tiga dimensi tersusun atas polimer hidrofilik dan dibuat secara fisika atau kimia dengan ikat silang (*cross-linking*) (Xiao, *et al.*, 2017). Karena sifat hidrofiliknya yang sangat baik, kapasitas pembengkakan yang tinggi, serta mudah untuk digunakan, SAP banyak diaplikasikan dalam bidang agrikultur (Alam & Christopher, 2018), medis, dan juga popok sekali pakai (Elliot, 2010). Gugus hidrofilik merupakan gugus utama dalam SAP, yaitu seperti gugus karboksilat ($-\text{COOH}$) yang mudah menyerap air (Elliot, 1997). Pada saat SAP berinteraksi dengan air atau suatu pelarut, maka akan terjadi interaksi hidrasi, yaitu dimana ion dari zat terlarut (SAP) akan berikatan dengan molekul polar dari air atau pelarut sebagaimana disajikan pada **Gambar 2. 2**, dengan contoh air sebagai zat pelarut dan COO^- dan Na^+ adalah zat terlarut.

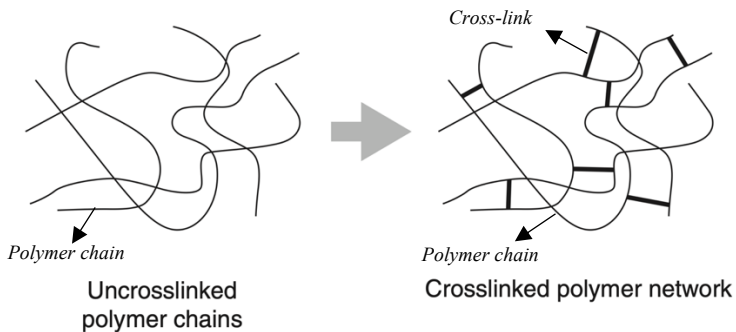


Gambar 2.2 Mekanisme interaksi hidrasi pada SAP (Chang & Yoo, 1999).

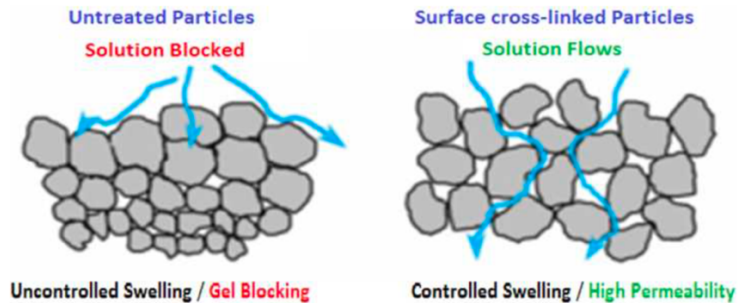
Dalam dunia polimer modern, SAP banyak menarik perhatian karena kemampuannya untuk menyerap 1.000 – 100.000% atau 10 – 1000 gram cairan per gram berat keringnya, dimana material absorben biasa hanya mampu menyerap cairan tidak lebih dari 100% atau 1 gram cairan per gram berat keringnya (Zohuriaan-Mehr & Kabiri, 2008). Secara umum, SAP terdiri dari jaringan rantai polimer yang terhubung dengan ikat silang untuk mencegahnya larut. Pada SAP, biasanya terdapat gugus fungsi ionik di sepanjang rantai polimer untuk mendorong difusi air dalam jaringan (Chatterjee & Gupta, 2002).

SAP yang mengandung cairan yang telah diserap disebut dengan hidrogel. Kemampuan pembengkakan dari suatu hidrogel polimer superabsorben bergantung pada jenis polimer yang digunakan dan juga derajat *cross-linking* yang dimiliki. *Cross-linking* merupakan salah satu metode untuk membuat polimer, termasuk polimer superabsorben (SAP), dengan adanya ikatan yang menghubungkan molekul yang saling berdekatan dengan menggunakan suatu senyawa kimia, yang disebut agen ikat silang atau *cross-linker* dengan jumlah 2 – 12% dari jumlah tiap komponen polimer yang berikatan (Gao, 2003; Canisag, 2015; Stevens, 2001). Adanya *cross-link* antar rantai polimer mampu membentuk jaringan tiga dimensi dan mencegah SAP untuk dapat larut dalam air (John, 2011). Ketika SAP yang telah *dicross-link* direndam dalam suatu pelarut, SAP akan membengkak seiring dengan masuknya molekul dari pelarut ke dalam jaringan.

Kekuatan dari jaringan atau kekuatan gel bergantung terhadap derajat *cross-linking* (Buchholz & Graham, 1997). Kekuatan dari jaringan atau kekuatan gel ini berpengaruh terhadap tingkat pembengkakan. Selain itu, afinitas antara SAP dan pelarut juga berpengaruh terhadap tingkat pembengkakan (Stevens, 2001). Penyerapan air oleh SAP akan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi *cross-linker* hingga mencapai suatu nilai optimum kemudian menurun (Xue, *et al.*, 2001). **Gambar 2. 3** menunjukkan perbedaan rantai polimer yang mengalami *cross-link* dan yang tidak mengalami *cross-link*, sedangkan pada **Gambar 2. 4** disajikan gambar perbedaan partikel yang mengalami *cross-link* dan yang tidak mengalami *cross-link*.



Gambar 2. 3 Perbedaan rantai polimer yang mengalami *cross-link* dan yang tidak mengalami *cross-link* (Balaguer, *et al.*, 2011a).



Gambar 2. 4 Perbedaan partikel yang mengalami *cross-link* dan yang tidak mengalami *cross-link* (Jockusch, *et al.*, 2009).

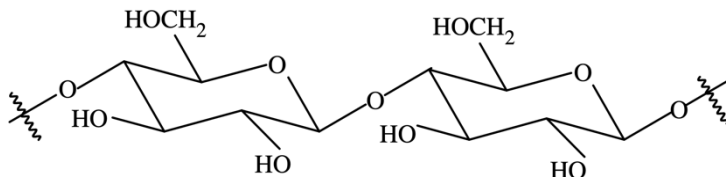
Terdapat beberapa kriteria untuk menggolongkan suatu material polimer ke dalam SAP, yaitu seperti berat kering dari suatu polimer mampu menyerap dua puluh kali atau lebih air, saline, maupun larutan fisik, dari berat asalnya. Selain itu, hidrogel yang membengkak akibat proses penyerapan mampu mempertahankan bentuk aslinya. Hidrogel yang dihasilkan juga harus memiliki integritas fisik yang cukup untuk menahan aliran sebagaimana penggabungan dengan partikel yang berdampingan (Elliot, 2010). Dan terakhir, material tersebut mampu mempertahankan larutan yang telah diserapnya di bawah tekanan (Assmann, 2013).

SAP yang saat ini ditemukan dalam kehidupan sehari-hari adalah SAP yang terbuat dari polimer sintesis yang sulit untuk terurai di alam sehingga dapat berdampak buruk bagi lingkungan dalam jangka waktu panjang. Beberapa pakar lingkungan telah melakukan sejumlah riset untuk mengembangkan material ramah lingkungan berbasis sumber daya alam yang dapat diperbarui sebagai bahan dasar pembuatan SAP. Biopolimer merupakan polimer yang berasal dari alam dengan jumlah melimpah serta dapat diperbarui (Sinha, 2018). Hal ini membuat biopolimer berpotensi untuk dijadikan bahan dasar dalam sintesis SAP. Contoh dari biopolimer yang mudah dijumpai antara lain seperti

kitosan, kolagen/gelatin, protein, selulosa, pati, dan lain sebagainya (Sinha, 2018).

2.3 Selulosa dan Pati

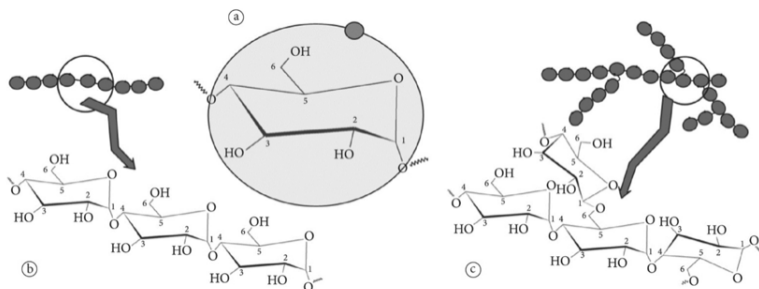
Selulosa dan pati adalah salah satu polisakarida dengan rumus empirik $C_6H_{10}O_5$ yang ketersediaannya melimpah di alam (Leite, *et al.*, 2012; Pushpamalar, *et al.*, 2006). Kedua polisakarida ini memiliki kemiripan struktur, yang membedakan hanyalah ikatan glikosidik antara unit anhidroglukosanya (AGU) (Nordin, *et al.*, 2018). Selulosa merupakan rantai panjang molekul glukosa yang terhubung satu sama lain. Selulosa biasanya ditemukan pada dinding sel tanaman dan umumnya bercampur bersamaan dengan zat lain, seperti lignin serta hemiselulosa dan ini membuatnya cukup sulit untuk dapat menemukan selulosa dalam bentuk murninya. Dalam tanaman, selulosa memiliki peran penting karena mampu memberikan kekuatan pada tanaman itu sendiri. Pada struktur rantai polimernya, selulosa terdiri atas unit glukosa yang menghubungkan satu sama lain oleh ikatan β -glikosidik antara C(4) secara linear terkondensasi, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2. 5**. Tanaman dalam bentuk keringnya memiliki kandungan selulosa dalam rentang 40 – 55%, lignin 15 – 35%, dan hemiselulosa 25 – 40% (Thomas, *et al.*, 2002; Othmer, 2004).



Gambar 2. 5 Struktur rantai polimer selulosa (Jones, 2005).

Pati dapat dijumpai di daun, bunga, buah, biji, maupun batang dan akar tumbuhan. Pada tumbuhan, pati digunakan sebagai sumber karbon dan juga energi. Rantai biokimia memiliki peran dalam proses sintesis pati termasuk juga molekul glukosa yang

dihasilkan dalam sel tumbuhan pada proses fotosintesis (Smith, 2001). Pati merupakan homopolimer glukosa dengan ikatan α -glukosidik, dimana nilai n berkisar antara 300 hingga 1000 (Winarno, 1992; Neelam, *et al.*, 2012). Setiap jenis pati memiliki sifat dan karakteristiknya masing-masing yang berbeda, bergantung pada panjang rantai karbon dan struktur rantai molekul yang dimiliki (Winarno, 1992). Terdapat dua molekul polisakarida penyusun pati, yaitu amilosa dan amilopektin (Fennema, 1976). Amilosa pada pati dapat terlarut dalam air sedangkan amilopektin tidak dapat terlarut dalam air (Winarno, 1992). **Gambar 2. 6** menyajikan struktur dasar dari glukosa dengan amilosa yang pada dasarnya berupa garis lurus atau linier dengan ikatan α -(1,4)-D-glukosa dengan titik percabangan terbatas pada α -1,6 dan juga merupakan 15 – 30% penyusun pati pada umumnya. Sedangkan, struktur amilopektin memiliki cabang dengan ikatan α -(1,6)-D-glukosa sebanyak 4 – 5% dari berat total serta merupakan penyusun 70 – 85% pati pada umumnya.



Gambar 2. 6 Struktur dasar dari (a) unit glukosa; (b) amilosa; dan (c) amilopektin (Pérez & Bertoft, 2010).

Selulosa dan pati dalam bentuk turunannya memiliki peran yang besar dalam industri biopolimer karena sifatnya yang melimpah di alam, relatif murah, tidak beracun, mampu terdegradasi, dapat diperbarui, dan memiliki kesesuaian dengan banyak material lain di dunia industri (Wang, *et al.*, 2010;

Parvathy, *et al.*, 2014). Dalam kehidupan sehari-hari, selulosa dan pati banyak dimanfaatkan untuk beberapa kegunaan dalam berbagai bidang, utamanya dalam bidang industri makanan sebagai pengental, penstabil, dan pembentuk gel (Eliasson & Gudmundsson, 2006; Yokota., 1985). Umumnya, selulosa dan pati dimanfaatkan dalam industri pangan sebagai pengental (*thickener*), pengisi (*filler*), bahan pengikat (*binder*), dan sebagai bahan penstabil.

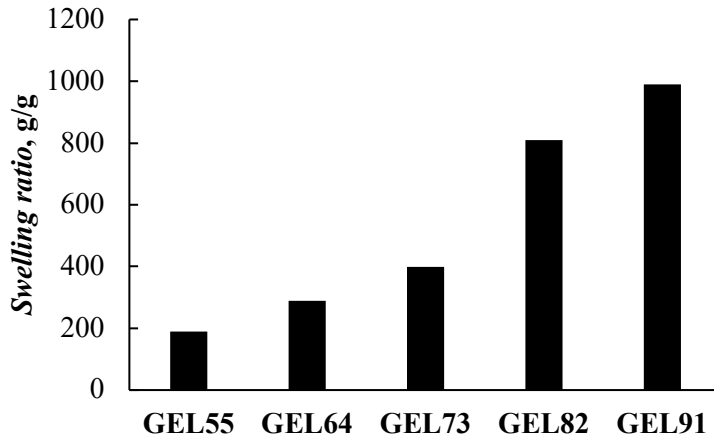
Meskipun selulosa dan pati memiliki banyak keunggulan, selulosa dan pati sendiri dalam bentuk murninya memiliki beberapa kekurangan seperti kelarutan yang kurang baik, sifat mekanik yang rendah, serta ketidakstabilan pada pH dan temperatur yang tinggi (Li, *et al.*, 2010). Untuk menangani hal tersebut, selulosa dan pati murni dapat dimodifikasi guna memperbaiki beberapa sifat aslinya agar sesuai dengan karakteristik atau tujuan sesuai aplikasinya yang diinginkan (Fitriani, 2018). Modifikasi yang banyak dilakukan adalah salah satunya dengan melibatkan reaksi gugus hidroksil yang bersifat hidrofilik pada unit anhidroglukosa dari pati. Modifikasi ini dapat dilakukan pada bentuk murni selulosa atau pati untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan, yaitu dalam bentuk *carboxymethyl cellulose* (CMC) atau *carboxymethyl starch* (CMS) (Nordin, *et al.*, 2018; Canisag, 2015).

2.4 Sintesis CMC dan CMS

Selulosa dan pati alami memang memiliki banyak keunggulan, namun juga tak lepas dari beberapa kelemahan. Kelemahan yang dimiliki pati dapat dimodifikasi untuk mendapatkan sifat sesuai yang diinginkan (Liu, 2005). Dalam hal pembuatan polimer superabsorben, selulosa dan pati penting untuk terlebih dahulu dimodifikasi dengan dengan tujuan memunculkan gugus karboksimetil anion pada makromolekulnya sehingga dapat meningkatkan sifat hidrofilik yang kemudian akan turut meningkatkan kemampuan penyerapan airnya (Sangseethong, *et al.*, 2018).

Modifikasi selulosa dan pati dapat terjadi secara kimia atau mekanik. Modifikasi secara kimia dilakukan dengan mengubah tiga gugus hidroksil yang terdapat pada tiap unit monomer glukosa pada selulosa dan pati (Kuutti, 2013). Salah satu metode yang umum untuk memodifikasi selulosa dan pati secara kimia adalah dengan melakukan proses karboksimetilasi. Proses ini merupakan proses substitusi gugus hidroksil menjadi gugus karboksimetil (Sangseethong, *et al.*, 2018). Gugus karboksimetil sendiri diketahui merupakan gugus yang berperan dalam meningkatkan sifat hidrofilik (Adel, *et al.*, 2010). Hasil dari proses tersebut adalah *carboxymethyl cellulose* (CMC) ataupun *carboxymethyl starch* (CMS) (Lawal, *et al.*, 2009).

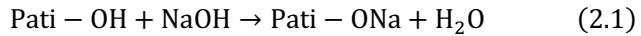
CMC dan CMS merupakan bentuk turunan dari selulosa atau pati yang dianggap sebagai kandidat yang ideal untuk pembuatan hidrogel atau material superabsorben karena dapat memiliki sifat hidrofilik yang dapat meningkatkan kemampuannya dalam menyerap air (Capitani, *et al.*, 2000). **Gambar 2. 7** menunjukkan bahwa CMC sebagai bahan dasar pembuatan material superabsorben berperan dalam meningkatkan kemampuan pembengkakan hidrogel. Hidrogel superabsorben dengan sampel GEL91 (9 CMC:1 selulosa, g/g) yang memiliki rasio selulosa tertinggi mampu mencapai kemampuan pembengkakan tertinggi jika dibandingkan dengan penggunaan rasio lainnya. CMC dan CMS juga dapat memberikan karakteristik *biodegradable* dikarenakan bahan dasarnya yang merupakan polisakarida sehingga aman untuk digunakan dan ramah terhadap lingkungan (Rivas-Orta, *et al.*, 2008). Keunggulan lain seperti proses sintesisnya yang tergolong mudah dan relatif murah juga menjadikan CMC dan CMS juga memiliki peran yang penting dalam beberapa industri, seperti dalam dunia medis, industri farmasi, kosmetik, tekstil, makanan, dan juga dalam hal yang berkaitan dengan *sustainable goals development* (Spychaj, *et al.*, 2013; Methacanon, *et al.*, 2003).



Gambar 2. 7 Rasio pembengkakan hidrogel CMC/selulosa dengan *epichlorohydrin* sebagai *cross-linker* (Chang, *et al.*, 2010).

Terdapat dua tahapan utama dalam proses karboksimetilasi, yaitu alkalisasi dan eterifikasi. Alkalisasi menyebabkan struktur granula selulosa atau pati menjadi melemah sehingga air dapat mudah masuk ke dalam granula pati (Fachrudin, 2017). Alkalisasi dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH yang bertujuan untuk mengaktifkan gugus hidroksil pada molekul pati (*Starch-OH*) menjadi gugus alkoksida (*Starch-O⁻*). Gugus hidroksil pada selulosa atau pati bersifat hidrofilik dimana berperan dalam meningkatkan kapasitas pembengkakan dari hidrogel (Astrini, *et al.*, 2016). Apabila NaOH yang ditambahkan semakin banyak maka jumlah gugus alkoksida juga semakin meningkat. Hal ini dapat memudahkan difusi reagen untuk proses selanjutnya, yaitu karboksimetilasi (Sangseethong, *et al.*, 2018), karena adanya tolak menolak antar muatan negatif yang akan membuat granula selulosa atau pati membengkak (Chen & Jane, 1994) serta menghasilkan derajat substitusi (DS) semakin tinggi. Adanya peningkatan pada nilai DS berbanding lurus dengan efektifitas reaksi alkalisasi, namun penggunaan konsentrasi NaOH yang terlalu tinggi dapat

meningkatkan kadar air reaksi serta reaksi antara NaOH dan *monochloroacetic acid* (MCA) menjadi signifikan sehingga dapat menurunkan nilai DS (Fachrudin, 2017). Proses alkalisasi pati dijabarkan sebagaimana pada reaksi pada Persamaan (2. 1).



Selanjutnya, dilakukan proses eterifikasi. Eterifikasi merupakan salah satu mekanisme yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kelarutan selulosa dalam air dan juga sifat bioaktifnya (Theis, *et al.*, 2017). Reaksi eterifikasi mendukung terjadinya substitusi gugus hidroksil yang terdapat pada unit monomer glukosa dengan gugus karboksimetil ($-\text{CH}_2\text{COO}^-$) (Machová, *et al.*, 2014). Adanya penambahan gugus kimia pada hidroksil polisakarida memungkinkan untuk mengurangi interaksi intermolekul dan intramolekul, sehingga menyebabkan makromolekul lebih hidrofilik (Yang, *et al.*, 2011). Hal ini turut berperan dalam memfasilitasi penyerapan air dan memiliki aspek penting dalam proses pembuatan material superabsorben (Seidel, *et al.*, 2001). Proses eterifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan asetat sebagai reagen, dimana monokloroasetat (MCA) atau *sodium monochloroacetic acid* (SMCA) merupakan reagen eterifikasi yang umum digunakan. Reaksi yang terjadi dalam proses eterifikasi berjalan sebagaimana reaksi pada Persamaan (2. 2). Jumlah reagen yang digunakan akan berpengaruh terhadap substitusi unit anhidroglukosa pada selulosa atau pati (Pribadi, 1985). **Gambar 2. 8** menunjukkan skema reaksi sintesis CMC dengan menggunakan SMCA sebagai reagen eterifikasi. Penggunaan pelarut organik, seperti isopropanol, dalam reaksi karboksimetilasi berfungsi sebagai penyedia akses reagen eterifikasi ke inti reaksi dari rantai selulosa.



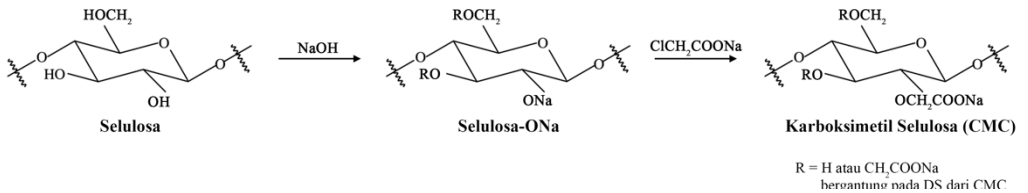
Derajat substitusi (DS) merupakan salah satu faktor penting yang berpengaruh dalam menentukan karakter dan kualitas dari CMC atau CMS. Nilai DS ini menyatakan banyaknya unit gugus hidroksil yang tersubstitusi dengan gugus karboksimetil. CMC atau CMS dengan nilai DS kurang dari 0,4 dapat mengembang, namun tidak dapat larut dalam air. Apabila nilai DS semakin tinggi maka kualitas CMC atau CMS yang dihasilkan akan semakin baik dan juga kelarutannya dalam air semakin meningkat karena banyaknya gugus hidroksil ($-OH$) yang berhasil tersubstitusi pada reaksi karboksimetilasi. CMC atau CMS komersial memiliki nilai DS dalam rentang 0,4 – 1,5, namun yang paling umum ditemukan berada dalam rentang 0,4 – 0,8 (Wijayani, *et al.*, 2005; Zhao, *et al.*, 2003; Naves & Petri, 2005). Adapun standardisasi CMC komersial menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) dijabarkan sebagaimana **Tabel 2. 2**. Tabel tersebut menunjukkan standar mutu CMC berdasar pada SNI 06-3736-1995 dengan keterangan bahwa Standar Mutu I digunakan sebagai acuan untuk aplikasi CMC dalam industri makanan dan Standar Mutu II digunakan sebagai acuan untuk aplikasi CMC dalam bidang industri umum.

Tabel 2. 2 Standardisasi CMC komersial [SNI 06-3736-1995].

Standar	Derajat Substitusi (DS)
SNI 06-3736-1995 Mutu I	0,7 – 1,2
SNI 06-3736-1995 Mutu II	0,4 – 1,0

Beberapa faktor akan mempengaruhi nilai DS dari CMC ataupun CMS, seperti penggunaan NaOH sebagai reagen alkalisasi (Zhao, *et al.*, 2003). Apabila NaOH yang digunakan mengalami kelebihan jumlah, maka akan terjadi reaksi yang akan menghasilkan produk samping seperti pada reaksi pada Persamaan (2. 3). Hal ini dikarenakan adanya NaOH yang tidak bereaksi dengan selulosa pada tahap eterifikasi akan bereaksi dengan reagen eterifikasi, dalam hal ini merupakan SMCA, dan menghasilkan sodium glikolat serta sodium klorida sebagai produk samping. Jika

semakin banyak NaOH yang ditambahkan pada proses sintesis, maka produk samping akan turut bertambah sehingga dapat berpengaruh pada kemurnian CMC atau CMS yang dihasilkan. Semakin banyak produk samping yang dihasilkan dalam suatu proses, maka kemurnian CM atau CMS yang dihasilkan akan semakin berkurang (Wijayani, *et al.*, 2005).

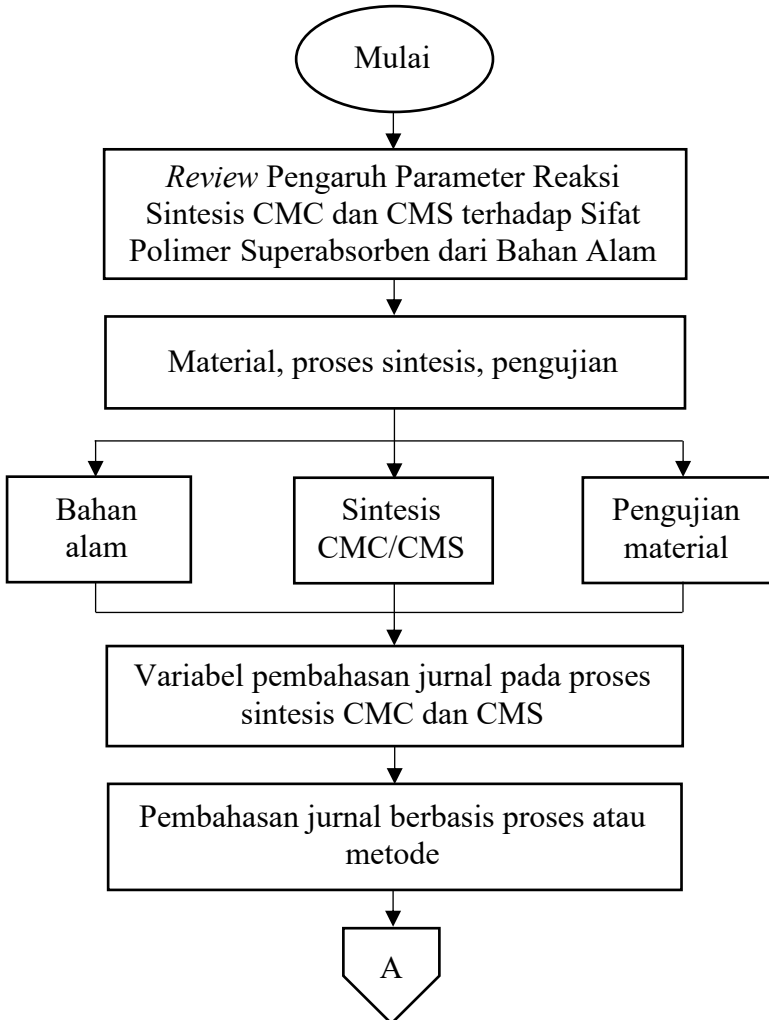


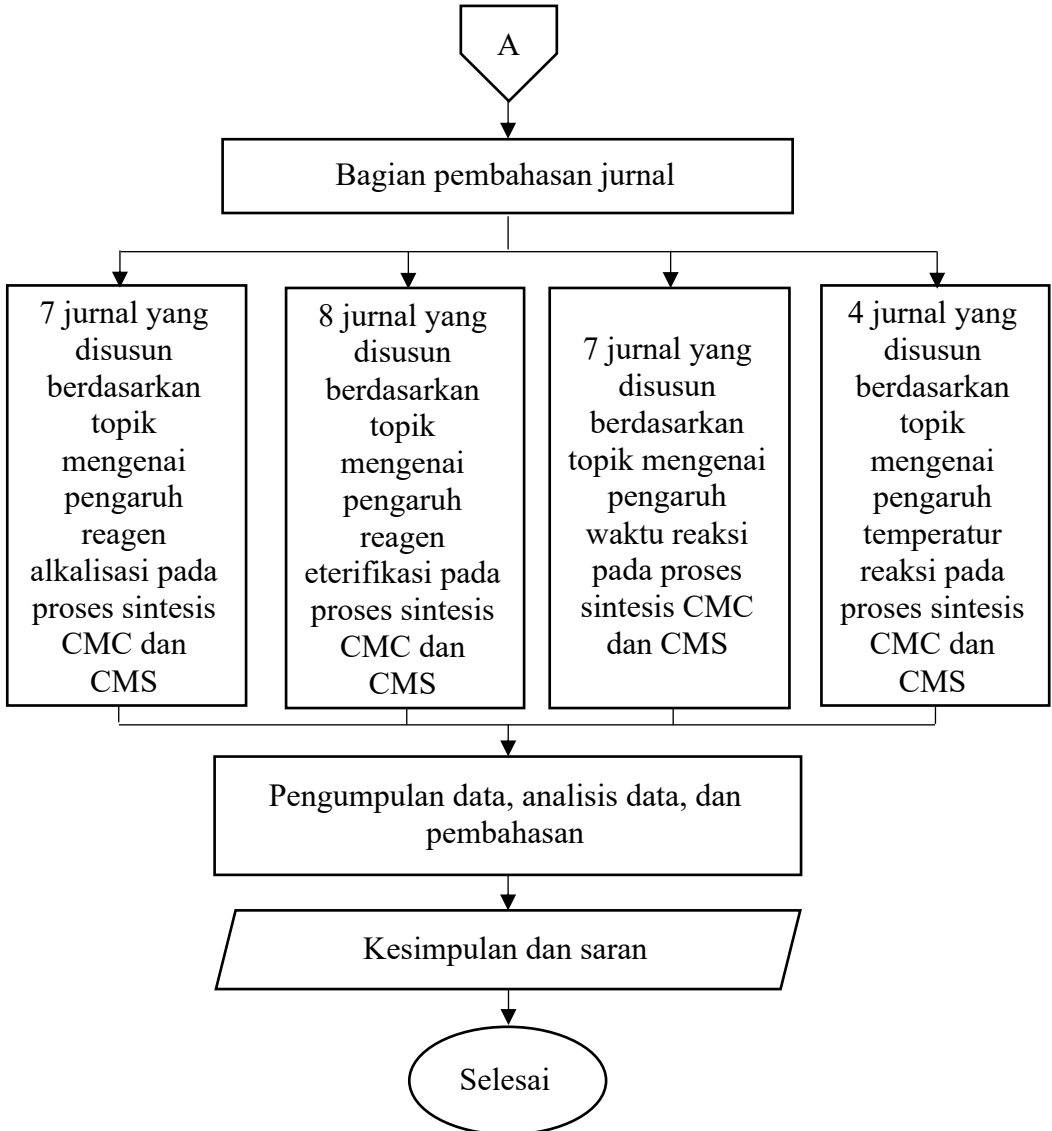
Gambar 2. 8 Skema reaksi sintesis CMC.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI *REVIEW*

3.1 Diagram Alir *Review*





Gambar 3. 1 Diagram alir *review*.

3.2 Bahan dan Metode

Pada studi literatur ini, terdapat beberapa bahan dasar alam yang dijadikan sebagai bahan baku pembuatan *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) menggunakan modifikasi kimia berupa karboksimetilasi dengan parameter reaksi yang berbeda-beda untuk kemudian dianalisis lebih lanjut, seperti disajikan pada **Tabel 3. 1**.

Tabel 3. 1 Bahan dan metode.

Parameter reaksi	Bahan alam	Metode	Aplikasi	Referensi
	Ampas sagu	CMC	CMC	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
	Ampas tebu	CMC	CMC	Asl, <i>et al.</i> , 2017
	Kulit pisang	CMC	CMC	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
Penambahan reagen alkalisasi	Pati beras	CMS	CMS	Rachtanapun, <i>et al.</i> , 2012
	Pati singkong	CMS	CMS	Fachrudin, 2017
	Pati sagu	CMS	CMS	Fachrudin, 2017
	Pati ubi cina	CMS	CMS	Yanli, <i>et al.</i> , 2009

Parameter reaksi	Bahan alam	Metode	Aplikasi	Referensi
Penambahan reagen eterifikasi	Ampas sagu	CMC	CMC	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
	Batang jagung	CMC	CMC	Nur'ain, <i>et al.</i> , 2017
	Kulit buah kakao	CMC	CMC	Nisa & Putri, 2014
	Kulit durian	CMC	CMC	Safitri, <i>et al.</i> , 2017
	Kulit pisang	CMC	CMC	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
Variasi waktu reaksi	Pati sagu	CMS	CMS	Li, <i>et al.</i> , 2011
	Pati ubi cina	CMS	CMS	Yanli, <i>et al.</i> , 2009
	Tongkol jagung	CMS	CMS	Melisa, <i>et al.</i> , 2014
Variasi waktu reaksi	Ampas sagu	CMC	CMC	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
	Batang jagung	CMC	CMC	Nur'ain, <i>et al.</i> , 2017

Parameter reaksi	Bahan alam	Metode	Aplikasi	Referensi
	Kulit durian	CMC	CMC	Safitri, <i>et al.</i> , 2017
	Kulit pisang	CMC	CMC	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
	Pati sagu	CMS	Hidrogel superabsorben	Nordin, <i>et al.</i> , 2018
	Pati ubi cina	CMS	CMS	Yanli, <i>et al.</i> , 2009
	Tongkol jagung	CMC	CMC	Melisa, <i>et al.</i> , 2014
	Ampas sagu	CMC	CMC	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
Variasi temperatur reaksi	Kulit pisang	CMC	CMC	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
	Pati kentang	CMS	CMS	Li, <i>et al.</i> , 2011
	Pati ubi cina	CMS	CMS	Yanli, <i>et al.</i> , 2009

3.3 Pengujian

Dalam studi literatur ini dilakukan analisis terhadap beberapa hasil pengujian sehingga dapat menentukan apakah penelitian terkait dianggap berhasil atau tidak. Pengujian terbagi

atas penentuan derajat substitusi (DS) dan juga pengujian *Fourier-Transform Infrared* (FTIR). Selain itu, dilakukan pula perhitungan terkait efisiensi reaksi (RE) Hasil yang didapat dari dua pengujian tersebut merupakan sebagai penentu apakah material yang digunakan berpotensi untuk dijadikan bahan dasar pembuatan material superabsorben.

3.3.1 Pengujian *Fourier-Transform Infrared* (FTIR)

Apabila seberkas sinar inframerah dilewatkan pada suatu sampel polimer, maka beberapa frekuensinya diserap oleh molekul dan beberapa frekuensi lainnya akan ditransmisikan. Jenis ikatan yang ada dalam molekul polimer seperti ikatan C–C, C=C, C–O, dan C=O memiliki frekuensi vibrasinya yang berbeda-beda. Adanya ikatan tersebut dalam molekul polimer dapat dideteksi melalui identifikasi frekuensi karakteristik sebagai puncak absorpsi dalam spektrum inframerah (Rohaeti, 2005).

Tabel 3. 2 Spektrum inframerah selulosa/pati (Kondo, 1997).

Gugus	Keterangan ikatan	Frekuensi, cm^{-1}
Hidroksil (-OH)	–OH <i>stretching</i>	3200 – 3600
–CH	–CH <i>stretching</i> <i>vibration</i>	3000
Eter	–O–	1000 – 1200

Pada selulosa atau pati murni serta *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) dilakukan studi spektroskopi menggunakan instrumen karakterisasi berupa *Fourier-Transform Infrared* dalam kisaran 280 hingga 4000 cm^{-1} . Metode ini dilakukan dengan memanaskan sampel pada temperatur mulai dari 30°C hingga 600°C dengan laju pemanasan 1 °C min^{-1} . Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa, mendeteksi gugus fungsi, serta menganalisis campuran dan sampel yang dianalisis.

Pada CMC atau CMS berhasil atau tidaknya proses sintesis dapat dilihat dari terbentuknya *peak* baru pada 1400 hingga 1600 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi karboksil ($-\text{COO}^-$) hasil reaksi eterifikasi (Nordin, *et al.*, 2018; Sangseethong, *et al.*, 2018). Pada **Tabel 3. 3** disajikan spektrum inframerah yang utamanya umum dimiliki suatu CMC dan CMS.

Tabel 3. 3 Spektrum inframerah CMC dan CMS (Kondo, 1997; Pecsok, 1976).

Gugus	Keterangan ikatan	Frekuensi, cm^{-1}
Hidroksil ($-\text{OH}$)	$-\text{OH}$ <i>stretching</i>	3200 – 3600
$-\text{CH}$	$-\text{CH}$ <i>stretching</i> <i>vibration</i>	3000
Karboksil ($-\text{COO}$)	$-\text{COO}$	1400 – 1640
Eter	$-\text{O}-$	1000 – 1200

3.3.2 Penentuan Derajat Substitusi (DS)

Pada proses karboksimetilasi, derajat substitusi (DS) didefinisikan sebagai jumlah rata-rata gugus hidroksil pati yang disubstitusi oleh gugus karboksimetil (Zhou, *et al.*, 2007). Untuk menentukan DS dari CMS, sejumlah CMS ditimbang dan dicampurkan etanol ke dalamnya. Campuran kemudian diaduk selama 5 menit untuk kemudian ditambahkan asam nitrat. Campuran kemudian diaduk kembali dan dipanaskan hingga mendidih selama 20 menit. Lalu, campuran didinginkan dan disaring. Selanjutnya, etanol ditambahkan ke dalam residu campuran, diaduk, lalu disaring kembali. Langkah ini diulangi hingga tiga kali. Setelah itu, residu dikeringkan di dalam oven pada temperatur 60°C semalaman. Sejumlah sampel kemudian ditimbang dan ditambahkan aquades ke dalamnya, lalu diikuti dengan penambahan NaOH 0,5 M. Selanjutnya, campuran dititrasi menggunakan HCl 0,3 M hingga berubah warna dari merah muda pucat hingga menjadi tidak berwarna. Pada proses titrasi,

phenolphthalein digunakan sebagai indikator. Larutan kosong tanpa sampel disiapkan dan dititrasi. Seluruh proses titrasi dilakukan dengan tiga kali pengulangan masing-masing. Lalu, derajat substitusi (DS) dihitung berdasarkan metode seperti pada Persamaan (3.1).

$$DS = \frac{162 \times n_{\text{-COOH}}}{(M-58) \times n_{\text{-COOH}}} \quad (3.1)$$

Keterangan:

162 = berat molekul GU (Unit Glukopiranososa)
(gram/mol)

$n_{\text{-COOH}}$ = jumlah gugus karboksimetil (mol)

M = berat sampel (gram)

58 = berat molekul gugus CM yang tersubstitusi
(gram/mol)

Adapun jumlah mol gugus CM dihitung berdasarkan Persamaan (3.2).

$$n_{\text{-COOH}} = (V_o - V) \times C_{\text{HCl}} \quad (3.2)$$

Keterangan:

$n_{\text{-COOH}}$ = jumlah gugus karboksimetil (mol)

V_o = volume HCl yang digunakan untuk menitrasi larutan kosong (ml)

V = volume HCl yang digunakan untuk menitrasi sampel (ml)

C_{HCl} = konsentrasi HCl yang digunakan untuk titrasi

3.3.3 Perhitungan Efisiensi Reaksi (RE)

Pada proses karboksimetilasi dengan penggunaan parameter reaksi yang beragam, efisiensi reaksi dihitung untuk mengetahui seberapa jauh tiap-tiap reaksi yang telah berjalan dapat bekerja

secara optimum dalam bentuk kuantitatif. Adapun efisiensi reaksi dihitung menurut Persamaan (3. 3) dan turunannya.

$$RE (\%) = \frac{DS}{RSMR} \times 100 \quad (3.3)$$

dimana DS merupakan derajat substitusi dan RSMR merupakan rasio molar reagen eterifikasi terhadap molar pati yang dapat dihitung menurut Persamaan (3. 4).

$$RE (\%) = \frac{n_{NaMCA}}{n_{GU}} \times 100 \quad (3.4)$$

3.4 Ruang Lingkup Pembahasan

Terdapat beberapa hal yang perlu dibahas untuk kemudian dianalisis pengaruhnya terhadap hasil akhir dari *carboxymethyl cellulose* (CMC) atau *carboxymethyl starch* (CMS) sehingga dapat ditentukan kondisi optimum yang terjadi dalam reaksi sintesis.

Tabel 3. 4 Ruang lingkup pembahasan.

Parameter reaksi	Bahan alam	FTIR	DS	RE	Referensi
Penambahan reagen alkalisasi	Ampas sagu	✓	✓	–	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
	Ampas tebu	✓	✓	–	Asl, <i>et al.</i> , 2017
	Kulit pisang	✓	✓	–	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
	Pati beras	–	✓	–	Rachtanapun, <i>et al.</i> , 2012

Parameter reaksi	Bahan alam	FTIR	DS	RE	Referensi
	Pati singkong	–	✓	✓	Fachrudin, 2017
	Pati sagu	–	✓	✓	Fachrudin, 2017
	Pati ubi cina	✓	✓	–	Yanli, <i>et al.</i> , 2009
	Ampas sagu	✓	✓	–	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
	Batang jagung	–	✓	–	Nur'ain, <i>et al.</i> , 2017
	Kulit buah kakao	–	✓	–	Nisa & Putri, 2014
Penambahan reagen eterifikasi	Kulit durian	✓	✓	–	Safitri, <i>et al.</i> , 2017
	Kulit pisang	✓	✓	–	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
	Pati sagu	✓	✓	✓	Li, <i>et al.</i> , 2011
	Pati ubi cina	✓	✓	–	Yanli, <i>et al.</i> , 2009

Parameter reaksi	Bahan alam	FTIR	DS	RE	Referensi
	Tongkol jagung	–	✓	–	Melisa, <i>et al.</i> , 2014
	Ampas sagu	✓	✓	–	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
	Batang jagung	–	✓	–	Nur'ain, <i>et al.</i> , 2017
	Kulit durian	✓	✓	–	Safitri, <i>et al.</i> , 2017
Variasi waktu reaksi	Kulit pisang	✓	✓	–	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
	Pati sagu	✓	✓	✓	Nordin, <i>et al.</i> , 2018
	Pati ubi cina	✓	✓	–	Yanli, <i>et al.</i> , 2009
	Tongkol jagung	–	✓	–	Melisa, <i>et al.</i> , 2014
Variasi temperatur reaksi	Ampas sagu	✓	✓	–	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
	Kulit pisang	✓	✓	–	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017

Parameter reaksi	Bahan alam	FTIR	DS	RE	Referensi
	Pati kentang	✓	✓	✓	Li, <i>et al.</i> , 2011
	Pati ubi cina	✓	✓	–	Yanli, <i>et al.</i> , 2009

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Penambahan Reagen Alkalisasi (NaOH)

Dalam seluruh rangkaian proses sintesis *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS), tahapan alkalisasi merupakan salah satu tahapan inti dan memiliki peranan yang penting. Hal ini dikarenakan tahap alkalisasi dapat menentukan kualitas karboksimetil yang terbentuk (Fachrudin, 2017). Tahap alkalisasi merupakan tahapan yang bertujuan untuk mengaktifasi gugus hidroksil ($-OH$) dari molekul selulosa atau pati dan kemudian mengubahnya menjadi bentuk alkoksida yang lebih reaktif (Selulosa- O) dengan bantuan reagen alkali (Sangseethong, *et al.*, 2005).

Sodium hidroksida (NaOH) merupakan reagen alkali yang umum digunakan dalam proses alkalisasi dalam sintesis CMC dan CMS. Pada tahapan alkalisasi, selulosa akan mengembang dengan bantuan NaOH sebagai agen pengembangnya, sehingga pada tahapan selanjutnya, yaitu eterifikasi, reagen akan lebih mudah untuk berdifusi (Zhang, *et al.*, 1992). Hal ini didukung dengan bantuan pelarut organik yang ditambahkan pada awal proses sintesis. Molekul dari pelarut organik akan mengelilingi molekul NaOH untuk kemudian mendistribusikannya ke gugus hidroksil yang dimiliki oleh selulosa. Setelah itu, NaOH akan membuka ikatan selulosa dengan mengubah struktur kristalnya untuk membentuk bentuk alkali dari selulosa tersebut dan pada akhirnya membuat akses untuk air agar dapat masuk (Ayuningtiyas, *et al.*, 2017; Saputra, *et al.*, 2014). Reaksi yang terjadi pada tahapan alkalisasi seperti ditunjukkan oleh reaksi pada Persamaan (2. 1).

Keberhasilan proses sintesis dapat dianalisis dengan melakukan karakterisasi terhadap sampel menggunakan bantuan instrumen FTIR. Selulosa atau pati memiliki ciri khas berupa bilangan gelombang di sekitar 3500 cm^{-1} yang menandai kehadiran gugus hidroksil ($-OH$) (Saputra, *et al.*, 2014). Tabel 3. 2

menyajikan spektrum FTIR yang dimiliki oleh selulosa atau pati. Pada dasarnya, selulosa dan pati dengan bentuk turunannya, yaitu CMC dan CMS, memiliki kemiripan gugus fungsional dengan kesamaan pita absorpsi pada radiasi inframerah, yang membedakan adalah adanya pita absorpsi baru pada rentang $1400 - 1640 \text{ cm}^{-1}$. Panjang gelombang tersebut menunjukkan kehadiran gugus COO^- dan kelompok garamnya, dimana berarti bahwa gugus karboksimetil telah berhasil tersubstitusi (Biswal, 2004; Pecsok, 1976).

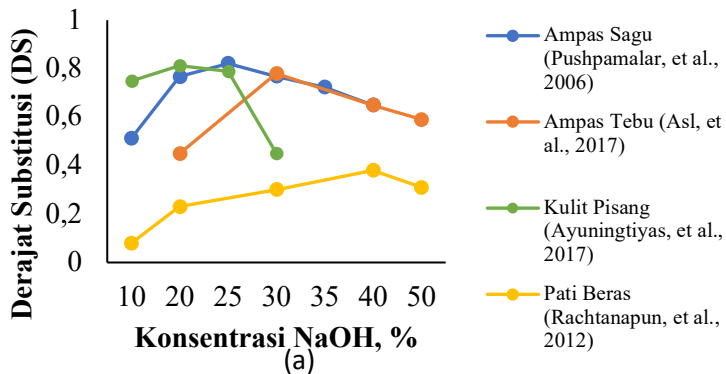
Beberapa peneliti telah melakukan studi terkait pengaruh konsentrasi NaOH yang digunakan pada tahapan alkalisasi dalam proses sintesis CMC dan CMS dari bahan alam terhadap hasil reaksi. Dari penelitian yang ada didapatkan bahwa konsentrasi NaOH berpengaruh terhadap beberapa aspek pada CMC dan CMS yang dihasilkan. Salah satu aspek yang dapat terpengaruh akibat konsentrasi NaOH yang digunakan dalam reaksi dan berperan penting dalam pembuatan polimer superabsorben adalah nilai derajat substitusi (DS) dari suatu CMC dan CMS.

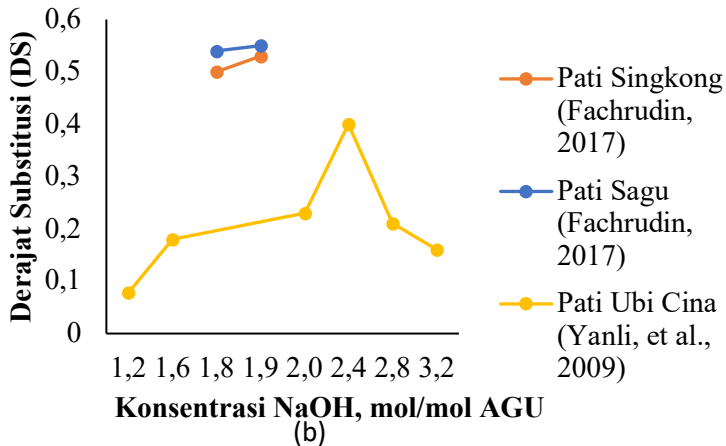
Tabel 4. 1 Hasil uji FTIR sampel CMC dan CMS berbahan dasar alam terkait penelitian penambahan reagen alkalisasi.

Variasi NaOH	Frekuensi COO^- , cm^{-1}	Referensi
10, 20, 25, 30, 35, 40%	1605	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
20, 30, 40, 50%	1607	Asl, <i>et al.</i> , 2017
10, 20, 25, 35%	1612,49	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
10, 20, 30, 40, 50%	—	Rachtanapun, <i>et al.</i> , 2012
1,8; 1,9 mol/mol AGU	—	Fachrudin, 2017
1,8; 1,9 mol/mol AGU	—	

Variasi NaOH	Frekuensi COO ⁻ , cm ⁻¹	Referensi
1,2; 1,6; 2; 2,4; 2,8; 3,2 mol/mol AGU	1604	Yanli, <i>et al.</i> , 2009

Pada **Tabel 4. 1** disajikan hasil pengujian FTIR sampel CMC dan CMS berbahan dasar alam berkaitan dengan beberapa penelitian yang membahas penambahan NaOH pada proses sintesis. Dari data tabel tersebut ditemukan bahwa pada CMC berbahan dasar ampas sagu, ampas tebu, kulit pisang, serta CMS berbahan dasar pati ubi cina memiliki *peak* yang berada dalam rentang 1400 – 1640 cm⁻¹. Kemunculan *peak* ini menunjukkan adanya keberadaan gugus COO⁻ ciri khas CMC dan CMS, sehingga hal itu menandakan bahwa proses sintesis telah berhasil dilakukan.



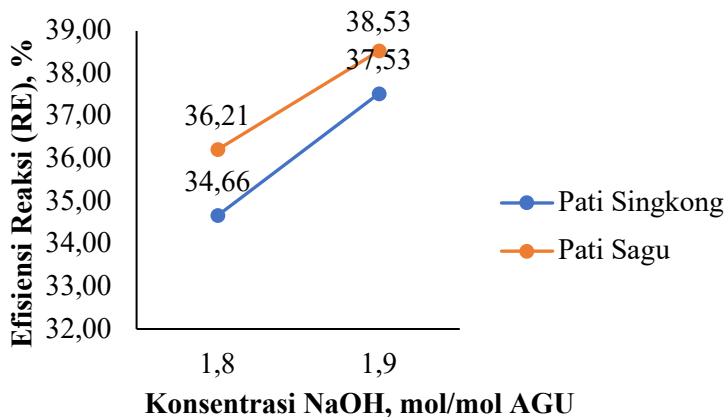


Gambar 4. 1 (a) Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap nilai DS CMC dan CMS berbahan dasar alam dalam % ; (b) Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap nilai DS CMS berbahan dasar alam dalam mol/mol AGU.

Data yang ada pada **Gambar 4. 1** menunjukkan hasil analisis berkaitan dengan penambahan NaOH terhadap nilai DS. Dari data tersebut ditemukan bahwa semakin tingginya konsentrasi NaOH yang digunakan pada reaksi alkalisasi akan menyebabkan peningkatan nilai DS dari suatu CMC dan CMS. Namun, pada suatu titik nilai DS mengalami penurunan. Hal ini berarti NaOH telah mengembangkan CMC dan CMS secara maksimal atau bekerja mencapai titik optimumnya dan turunnya nilai DS disebabkan oleh meningkatnya kadar air dalam reaksi sehingga terjadi reaksi antara NaOH dengan reagen eterifikasi membentuk reaksi samping. Reaksi pada Persamaan (2. 3) menunjukkan reaksi samping yang mungkin terjadi apabila reagen yang digunakan pada proses eterifikasi adalah *sodium monochloroacetic acid* (SMCA). NaOH yang bereaksi dengan SMCA menghasilkan hasil berupa natrium glikolat ($\text{HOCH}_2\text{COONa}$) dan natrium klorida (NaCl). Tingginya kadar air dalam reaksi juga berpotensi untuk menimbulkan aglomerasi yang berpengaruh terhadap

penghambatan pengadukan sehingga dapat menurunkan nilai DS (Sangseethong, *et al.*, 2005; Ott & Spurlin, 1995; Spychaj, *et al.*, 2013). Selain itu, Asl dkk. (2017) menyatakan bahwa terdapat efek degradasi yang dapat dialami oleh suatu rantai polimer akibat tingginya konsentrasi reagen alkali.

Menurut Fachrudin (2017), NaOH dalam suatu reaksi alkalisasi juga turut memiliki pengaruh dalam hal keefisienan. Dapat dilihat pada **Gambar 4. 2** bahwa semakin tingginya konsentrasi NaOH yang digunakan dapat meningkatkan efisiensi dari suatu reaksi alkalisasi. Nilai efisiensi reaksi menunjukkan bahwa reaksi eterifikasi pada proses sintesis berjalan dengan baik dan efektif. Dalam hal ini, tingginya konsentrasi NaOH dapat menyebabkan peningkatan gugus reaktif pati alkali sehingga reaktivitas pati alkali terhadap reagen eterifikasi yang digunakan juga turut meningkat (Sangseethong, *et al.*, 2005; Fachrudin, 2017). Persen efisiensi reaksi dapat dihitung menurut Persamaan (3. 3).



Gambar 4. 2 Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap efisiensi reaksi sintesis CMS berbahan dasar pati (Fachrudin, 2017).

Jika ditinjau dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti, dapat disimpulkan bahwa penggunaan konsentrasi NaOH pada reaksi alkalisasi sintesis CMC berbahan dasar alam untuk penggunaan material superabsorben akan lebih baik berada pada rentang 20 – 30% ataupun tidak lebih dari 2,4 mol/mol AGU, namun penting adanya untuk mempertimbangkan parameter reaksi lain yang digunakan. Penggunaan NaOH yang tinggi tidak akan menghasilkan nilai DS dan efisiensi reaksi yang juga tinggi apabila tidak didukung dengan jumlah penambahan reagen eterifikasi, waktu reaksi, dan temperatur reaksi yang tepat agar dapat menghasilkan kondisi reaksi yang optimum.

4.1.2 Penambahan Reagen Eterifikasi

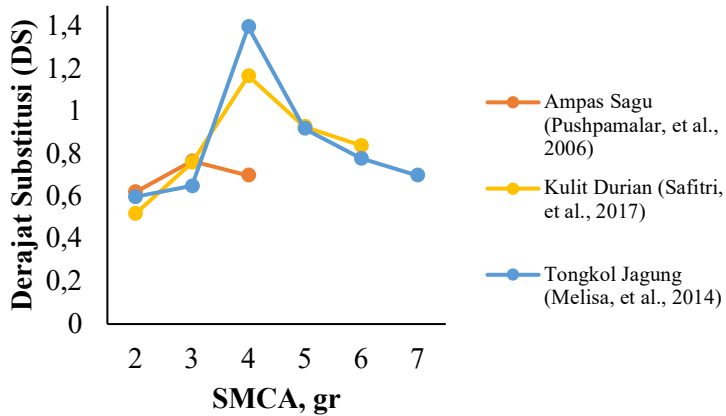
Carboxymethyl cellulose (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) merupakan bentuk turunan selulosa dan pati yang dihasilkan dari reaksi eterifikasi dalam medium alkali (Tijssen, *et al.*, 2001). Reaksi eterifikasi merupakan reaksi pembentukan gugus karboksimetil dengan adanya substitusi dari reagen eterifikasi. Reagen eterifikasi yang umumnya digunakan pada proses sintesis CMC dan CMS adalah *sodium monochloroacetic acid* (SMCA). Ketika telah terjadi reaksi yang setimbang antara NaOH dan gugus hidroksil dari selulosa, SMCA kemudian ditambahkan untuk mensubstitusi gugus hidroksil tersebut (Pushpamalar, *et al.*, 2006). Reaksi yang terjadi pada proses eterifikasi adalah sebagaimana reaksi pada Persamaan (2. 2). Selulosa atau pati yang telah bereaksi dengan NaOH menjadi bentuk alkoksidanya kemudian bereaksi dengan natrium monokloroasetat membentuk karboksimetil selulosa (Selulosa-O-CH₂COONa) dan natrium klorida (NaCl) sebagai produk samping.

Tabel 4. 2 Hasil uji FTIR sampel CMC dan CMS berbahan dasar alam terkait penelitian penambahan reagen eterifikasi.

Variasi reagen eterifikasi	Frekuensi COO ⁻ , cm ⁻¹	Referensi
2, 3, 4, 5, 6, 7 gr SMCA	1605	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 gr SMCA/gr selulosa	–	Nur'ain, <i>et al.</i> , 2017
5, 6, 7, 8, 9 gr SMCA	1604	Safitri, <i>et al.</i> , 2017
20, 30% asam trikloroasetat	–	Nisa & Putri, 2014
0,5; 1; 1,6; 2,3 mol SMCA/mol selulosa	1612,49	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
0,5; 1; 1,5; 2; 3; 5 mol SMCA/mol AGU	1587,141	Yaacob, <i>et al.</i> , 2011
1,2; 1,6; 2; 2,4; 2,8 3,2 mol/mol AGU	1604 cm ⁻¹	Yanli, <i>et al.</i> , 2009
5, 6, 7, 8, 9, 10 gr	–	Melisa, <i>et al.</i> , 2014

Gugus karboksil (COO⁻) merupakan gugus utama atau ciri khas dari CMC dan CMS yang dihasilkan dari reaksi substitusi reagen eterifikasi terhadap gugus hidroksil (–OH) milik molekul pati. Oleh karena itu, gugus ini penting adanya untuk diidentifikasi agar dapat dilakukan analisis lebih lanjut terkait keberhasilan reaksi eterifikasi yang terjadi. Pada **Tabel 4. 2** disajikan data berupa hasil pengujian FTIR yang didapatkan dari penelitian terkait pengaruh penambahan reagen eterifikasi pada sintesis CMC dan CMS berbahan dasar alam. Dari tabel ditemukan beberapa CMC dan CMS hasil penelitian memiliki bilangan gelombang

dalam rentang $1400 - 1640 \text{ cm}^{-1}$ sehingga dapat disimpulkan bahwa proses sintesis berhasil dilakukan.



Gambar 4.3 Pengaruh jumlah SMCA sebagai reagen eterifikasi terhadap nilai DS CMC berbahan dasar alam.

Tabel 4.3 Pengaruh jumlah reagen eterifikasi terhadap nilai DS CMC dan CMS berbahan dasar alam.

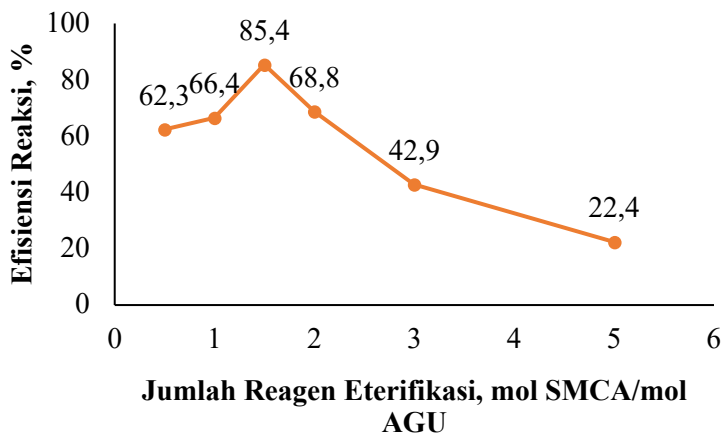
Material	Jenis reagen eterifikasi	Jumlah reagen eterifikasi	DS	Referensi
Batang jagung	Sodium monokloroasetat	0,8 gram SMCA/gram selulosa	0,59	Nur'ain, <i>et al.</i> , 2017
		1 gram SMCA/gram selulosa	0,71	

Material	Jenis reagen eterifikasi	Jumlah reagen eterifikasi	DS	Referensi
		1,2 gram SMCA/gram selulosa	0,83	
		1,4 gram SMCA/gram selulosa	0,8	
		1,6 gram SMCA/gram selulosa	0,68	
		1,8 gram SMCA/gram selulosa	0,55	
Kulit buah kakao	Asam trikloroasetat	20%	0,16	Nisa & Putri, 2014
		30%	0,85	
Kulit pisang	Sodium monokloroasetat	0,5 mol SMCA/mol selulosa	0,2	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
		1 mol SMCA/mol selulosa	0,6	
		1,6 mol SMCA/mol selulosa	0,72	
		2,3 mol SMCA/mol selulosa	0,42	

Material	Jenis reagen eterifikasi	Jumlah reagen eterifikasi	DS	Referensi
Pati sagu	Sodium monokloroasetat	0,5 mol SMCA/mol AGU	0,281	Yaacob, <i>et al.</i> , 2011
		1 mol SMCA/mol AGU	0,549	
		1,5 mol SMCA/mol AGU	1,041	
		2 mol SMCA/mol AGU	1,801	
		3 mol SMCA/mol AGU	1,715	
		5 mol SMCA/mol AGU	0,3983	
Pati ubi cina	Asam monokloroasetat	1,2 mol/mol AGU	0,078	Yanli, <i>et al.</i> , 2009
		1,6 mol/mol AGU	0,18	
		2 mol/mol AGU	0,23	
		2,4 mol/mol AGU	0,4	
		2,8 mol/mol AGU	0,21	

Material	Jenis reagen eterifikasi	Jumlah reagen eterifikasi	DS	Referensi
		3,2 mol/mol AGU	0,16	

Beberapa telah melakukan penelitian dan mendapatkan hasil bahwa reagen eterifikasi dengan jumlah yang tinggi dapat meningkatkan nilai derajat substitusi (DS) dari suatu CMC atau CMS. Akan tetapi, sama halnya dengan penambahan NaOH yang berlebihan, penambahan reagen eterifikasi yang terlalu banyak juga berdampak terhadap penurunan nilai DS, seperti yang disajikan pada **Gambar 4. 3** untuk sintesis CMC berbahan dasar ampas sagu, kulit durian, dan tongkol jagung dengan SMCA sebagai reagen eterifikasi. Hal serupa pun juga terjadi pada beberapa bahan alam lain, seperti batang jagung, kulit buah kakao, kulit pisang, pati sagu, dan pati ubi cina dengan penggunaan reagen eterifikasi bermacam-macam jenis, seperti disajikan pada **Tabel 4. 3**. Peningkatan nilai DS ini disebabkan oleh ketersediaan ion asetat yang besar pada konsentrasi yang lebih tinggi dekat molekul selulosa. Ketika telah mencapai titik tertentu, DS pada suatu CMC dan CMS dapat mengalami penurunan. Hal semacam ini dapat terjadi dikarenakan pada jumlah SMCA yang tinggi mampu membuat reaksi samping yang terjadi menjadi lebih dominan daripada reaksi utama dan kemudian terbentuknya produk samping berupa sodium glikolat ($\text{HOCH}_2\text{COONa}$) dan natrium klorida (NaCl), seperti ditunjukkan pada Persamaan (2. 3). (Wijayani, *et al.*, 2005; Pushpamalar, *et al.*, 2006).



Gambar 4. 4 Pengaruh jumlah reagen eterifikasi terhadap efisiensi reaksi pada CMS berbahan dasar pati sagu (Yaacob, *et al.*, 2011).

Penggunaan reagen eterifikasi ditemukan pula dapat mempengaruhi efisiensi dari suatu reaksi terkait. Pada **Gambar 4. 4** dapat dilihat bahwa penambahan jumlah reagen eterifikasi menyebabkan kenaikan persen efisiensi reaksi hingga mencapai suatu titik. Kenaikan persen efisiensi reaksi ini disebabkan oleh adanya peningkatan kontak antara reagen eterifikasi dengan molekul selulosa atau pati, sebagaimana juga berperan dalam meningkatkan nilai DS. Lalu, setelah mencapai titik tersebut, persen efisiensi reaksi terus menerus mengalami penurunan. Terjadi demikian dikarenakan bagian reaktif molekul pati telah mengalami kejenuhan dan pembentukan glikolat meningkat seiring dengan jumlah reagen eterifikasi yang bertambah sehingga reaksi tidak dapat berjalan secara efisien lagi.

Jika ditinjau menurut hasil analisis beberapa penelitian, jumlah reagen eterifikasi yang dibutuhkan untuk mendapatkan kondisi reaksi optimal adalah berada pada rentang 6 – 7 gram dengan baiknya untuk tetap mempertimbangkan parameter reaksi lain yang digunakan untuk sintesis CMC ataupun CMS tersebut,

seperti didukung dengan konsentrasi NaOH yang sesuai dan juga waktu serta temperatur reaksi yang cukup sehingga dapat menghasilkan kondisi reaksi yang optimum.

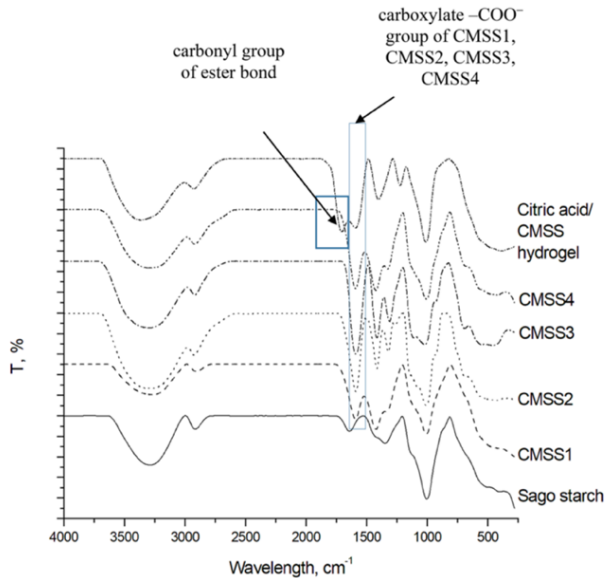
4.1.3 Variasi Waktu Reaksi

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) yang dihasilkan dan waktu reaksi merupakan salah satunya. Waktu reaksi adalah waktu yang dibutuhkan pada proses eterifikasi, yaitu pada saat reagen eterifikasi yang telah ditambahkan dan diaduk di dalam larutan kemudian dibiarkan pada temperatur tertentu selama beberapa saat untuk bereaksi. Lamanya waktu reaksi ini dapat berpengaruh terhadap nilai derajat substitusi (DS) dari suatu CMC ataupun CMS dikarenakan semakin banyaknya kemungkinan gugus hidroksil pada selulosa atau pati yang dapat tersubstitusi dengan gugus karboksimetil sehingga menghasilkan nilai DS yang tinggi seiring bertambahnya waktu (Yaacob, *et al.*, 2011; Khalil, *et al.*, 1990). Selain itu terdapat pula penjelasan yang berkaitan dengan hal tersebut, bahwa semakin lamanya waktu yang digunakan pada suatu reaksi akan menghasilkan difusi dan penyerapan reaktan secara maksimal sehingga menyebabkan terjadinya ikatan yang semakin baik antaranya dengan reagen eterifikasi dan juga selulosa terkait (Bhattacharyya, *et al.*, 1995).

Tabel 4. 4 Hasil uji FTIR sampel CMC dan CMS berbahan dasar alam terkait penelitian variasi waktu reaksi.

Variasi waktu reaksi	Frekuensi COO ⁻ , cm ⁻¹	Referensi
60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 menit	1605	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006

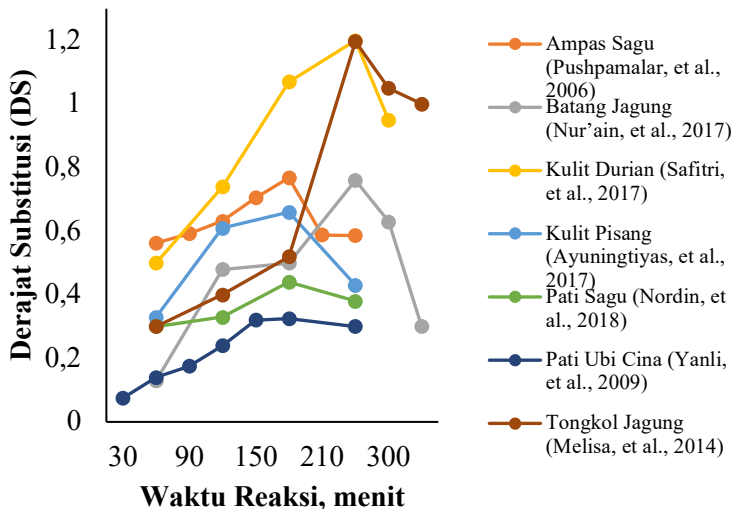
Variasi waktu reaksi	Frekuensi COO^- , cm^{-1}	Referensi
60, 120, 180, 240, 300, 360 menit	–	Nur'ain, <i>et al.</i> , 2017
60, 120, 180, 240, 300 menit	1604	Safitri, <i>et al.</i> , 2017
60, 120, 180, 240 menit	1612,49	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
60, 120, 180, 240 menit	1400 – 1600	Nordin, <i>et al.</i> , 2018
30, 60, 90, 120, 150, 180, 240 menit	1604	Yanli, <i>et al.</i> , 2009
60, 120, 180, 210, 240, 300 menit	–	Melisa, <i>et al.</i> , 2014



Gambar 4. 5 Spektrum FTIR sampel CMS berbahan dasar pati sago (CMSS 1, 60 menit; CMSS 2, 130 menit; CMSS 3, 180 menit, CMSS 4, 240 menit) (Nordin, *et al.*, 2018).

Studi terkait pengaruh penggunaan waktu reaksi yang berbeda dalam suatu sintesis CMC ataupun CMS, dengan bahan alam sebagai bahan dasarnya, telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Pada **Tabel 4. 4** disajikan hasil uji FTIR beberapa sampel CMC dan CMS pada penelitian yang membahas pengaruh penggunaan waktu reaksi sintesis tersebut. Data menunjukkan bahwa seluruh CMC dan CMS telah berhasil disintesis, dibuktikan dengan adanya *peak* yang muncul dalam rentang $1400 - 1640 \text{ cm}^{-1}$ sebagai tanda kehadiran gugus karboksil, yaitu COO^- . Selain itu, pada **Gambar 4. 5** dapat dilihat bahwa intensitas *peak* pada panjang gelombang terkait mengalami peningkatan dari CMSS 1 hingga CMSS 3, namun pada CMSS 4 tidak lagi terlihat adanya peningkatan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa gugus COO^- yang tersubstitusi pada saat reaksi bertambah seiring dengan penambahan waktu reaksi hingga mencapai titik waktu tertentu.

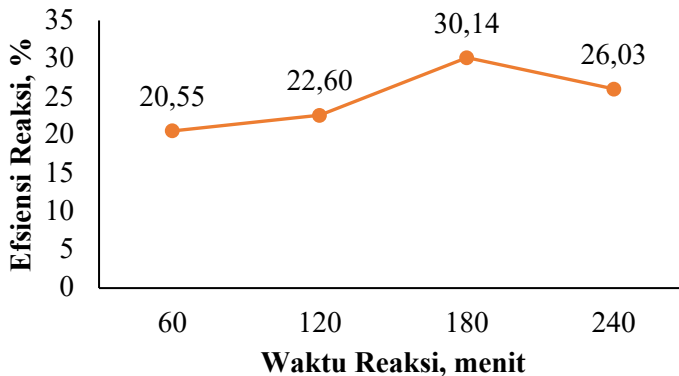
Penjelasan terkait penurunan intensitas *peak* yang terjadi adalah disebabkan oleh gugus COO^- yang tidak lagi tersubstitusi secara maksimal akibat adanya reaksi samping yang berjalan, sebagaimana dijabarkan pada reaksi di Persamaan (2. 3), dan hal inipun memiliki kaitan dengan nilai DS yang dimiliki CMS tersebut (Nordin, *et al.*, 2018).



Gambar 4. 6 Pengaruh waktu reaksi terhadap nilai DS CMC dan CMS berbahan dasar alam.

Berkaitan dengan teori yang ada, **Gambar 4. 6** menunjukkan kesesuaiannya dengan studi terkait pengaruh terhadap nilai DS yang disebabkan oleh lamanya waktu reaksi. Nilai DS dari suatu CMC dan CMS mengalami peningkatan seiring dengan lamanya waktu reaksi yang terjadi, namun dapat dilihat pada suatu titik nilai DS mengalami penurunan berturut-turut. Tingginya nilai DS ini mungkin dihasilkan seiring dengan meningkatnya kemampuan pembengkakan, proses difusi, serta absorpsi dari granula pati atau selulosa akibat adanya kontak antara

reagen eterifikasi dan molekul pati, hingga kemudian menyebabkan reaksi mencapai titik optimumnya setelah waktu tertentu (Yaacob, *et al.*, 2011; Khalil, *et al.*, 1990). Setelah mencapai fase ekuilibrium, penurunan nilai DS setelah waktu tertentu tersebut merupakan akibat adanya degradasi yang dialami polimer ketika suatu reaksi berada pada waktu yang lama (Heinze, *et al.*, 1999). Perlakuan waktu reaksi yang lama pun dinilai dapat membuat kesempatan antar gugus untuk berjarak semakin besar serta melemahkan ikatan yang ada dan juga terputusnya ikatan tersebut sehingga tidak terjadinya reaksi substitusi (Dianrifiya & Putri, 2014).



Gambar 4. 7 Pengaruh waktu reaksi terhadap efisiensi reaksi pada CMS berbahan dasar pati sagu (Nordin, *et al.*, 2018).

Sesuai dengan teori bahwa reaksi pada proses eterifikasi seharusnya berjalan sebagaimana reaksi pada Persamaan (2. 2). Namun, apabila waktu yang terjadi pada suatu reaksi semakin lama melebihi waktu tertentu, maka dapat memungkinkan untuk terbentuk reaksi samping yang tidak diinginkan seperti yang dijabarkan pada Persamaan (2. 3), berakibat pada turunnya nilai DS dan berdampak pada kemurnian dari suatu CMC dan CMS (Nordin, *et al.*, 2018). Hal ini juga berarti bahwa reaksi berjalan

kurang efisien dikarenakan reaksi tidak berjalan sebagaimana mestinya. Seperti dapat dilihat pada **Gambar 4. 7**, proses sintesis CMS dari pati sagu yang mengalami penurunan keefisiensian apabila waktu yang digunakan lebih dari 180 menit. Ketika suatu reaksi telah mencapai suatu titik dengan nilai DS yang maksimum dan setelah itu mengalami penurunan, maka dapat dikatakan bahwa titik tersebut merupakan waktu optimum untuk reaksi yang ada.

Ditinjau dari analisis terhadap beberapa penelitian, dapat dikatakan bahwa waktu reaksi yang optimum untuk melakukan sintesis CMC dan CMS adalah berkisar pada rentang antara 180 hingga 240 menit. Hal ini kemudian perlu disesuaikan kembali dengan parameter reaksi lainnya yang digunakan untuk pembuatan CMC ataupun CMS, seperti konsentrasi NaOH, jumlah reagen eterifikasi, dan juga temperatur reaksi, sehingga mampu mendapatkan nilai DS yang optimum dan reaksi yang berjalan secara efisien.

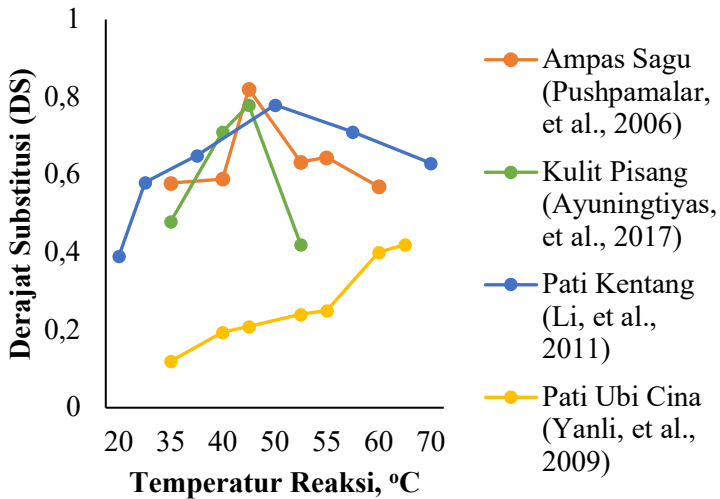
4.1.4 Variasi Temperatur Reaksi

Temperatur dalam suatu reaksi memiliki peranan yang penting. Tingginya temperatur yang digunakan berpengaruh terhadap peningkatan nilai derajat substitusi (DS) pada suatu *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan juga *carboxymethyl starch* (CMS). Hal ini dikarenakan terdapat lingkungan yang mendukung untuk CMC atau CMS bereaksi dengan baik selama proses karboksimetilasi. Kenaikan temperatur akan membantu terjadinya pembengkakan pada molekul pati akan meningkat. Selain itu, pada temperatur yang tinggi, kelarutan dari reagen eterifikasi pun meningkat. Proporsi molekul dengan energi yang lebih tinggi dibanding energi aktivasi juga semakin meningkat seiring dengan temperatur yang semakin tinggi. Secara bersamaan, hal ini menyebabkan laju reaksi meningkat, begitu pula dengan nilai DS dari suatu CMC ataupun CMS.

Tabel 4. 5 Hasil uji FTIR sampel CMC dan CMS berbahan dasar alam terkait penelitian variasi temperatur reaksi.

Variasi temperatur reaksi	Frekuensi COO ⁻ , cm ⁻¹	Referensi
35, 40 45, 50, 55, 60 °C	1605	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
35, 40, 45, 50 °C	1612,49	Ayuningtiyas, <i>et al.</i> , 2017
19,85; 29,85; 39, 85; 49,85; 59,85; 69,85 °C	1600	Li, <i>et al.</i> , 2011
35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 °C	1604	Yanli, <i>et al.</i> , 2009

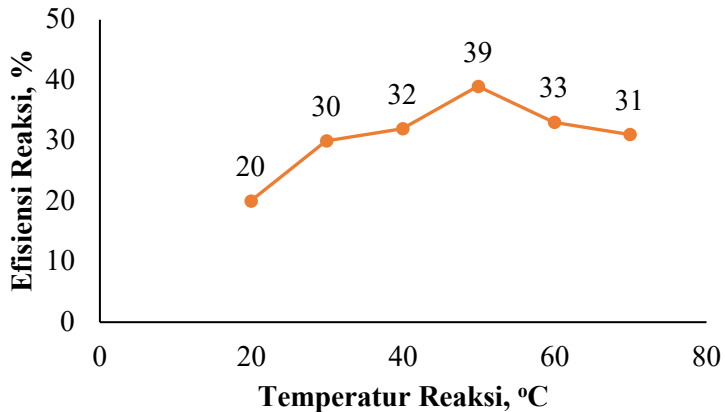
Terdapat bukti bahwa pada beberapa penelitian yang ada perubahan nilai DS dipengaruhi oleh penggunaan temperatur reaksi berbeda-beda. **Tabel 4. 5** menunjukkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan terhadap beberapa sampel pada penelitian terkait. Dari tabel dapat disimpulkan bahwa proses sintesis CMC dan CMS berbasis ampas sagu, kulit pisang, pati kentang dan pati ubi cina yang dilakukan dinilai berhasil. Keberhasilan ini ditandai dengan bilangan gelombang masing-masing CMC dan CMS berada dalam rentang 1400 – 1640 cm⁻¹ yang menunjukkan kehadiran gugus COO⁻ sebagai gugus hidrofilik ciri khas CMC dan juga CMS.



Gambar 4. 8 Pengaruh temperatur reaksi terhadap nilai DS CMC berbahan dasar alam.

Pada data yang disajikan dalam **Gambar 4. 8** di atas ditemukan bahwa pada saat temperatur tertentu, setelah temperatur terus menerus ditingkatkan dan telah mencapai titik optimum, nilai DS akan mengalami penurunan. Pada reaksi yang telah melampaui temperatur optimumnya, selulosa akan mengalami degradasi dimana adanya reaksi eliminasi air dari selulosa secara kimiawi. Proses eliminasi air tersebut berdampak terhadap perubahan pada struktur pati, yaitu terbentuknya aglomerat akibat tidak cukupnya air yang ada untuk melanjutkan proses gelatinisasi. Lebih lanjut, kekurangan air ini kemudian menyebabkan pada proses karboksimetilasi tidak terdapat cukup air sehingga minimnya kontak yang terjadi antara reagen eterifikasi dan molekul selulosa atau pati. Hal inilah yang membuat rendahnya substitusi yang mungkin terjadi sehingga nilai DS menurun. Seiring dengan itu, terdapat kemungkinan eliminasi intermolekul antar gugus hidroksil rantai tetangga yang membuat ikatan silang semakin kuat dengan

adanya ikatan eter, sehingga membuat tempat gugus $-OH$ untuk karboksimetilasi menjadi berkurang (Pushpamalar, *et al.*, 2006).



Gambar 4. 9 Pengaruh temperatur reaksi terhadap efisiensi reaksi pada CMS berbahan dasar pati kentang (Li, *et al.*, 2011).

Selain DS, peningkatan temperatur reaksi juga berpengaruh terhadap efisiensi keberjalanan reaksi. Semakin tingginya temperatur yang digunakan menyebabkan semakin tinggi pula persen efisiensi reaksi yang dihasilkan. Namun, sama halnya seperti pengaruhnya terhadap nilai DS yang akan menurun setelah mencapai suatu titik tertentu, peningkatan temperatur reaksi akan menurunkan nilai efisiensi reaksi ketika temperatur telah mencapai kondisi optimumnya. Pada **Gambar 4. 9** dapat dilihat bahwa efisiensi reaksi mengalami peningkatan terus menerus hingga mencapai temperatur 50,85 °C sebelum kemudian mengalami penurunan secara bertahap. Hal ini berkaitan dengan minimnya kontak yang terjadi antara reagen eterifikasi dan molekul selulosa atau pati sebagaimana juga telah dijelaskan mengenai pengaruhnya terhadap nilai DS.

Ditinjau dengan bahwa tiga dari empat bahan, yaitu ampas sagu, kulit pisang, dan pati kentang menunjukkan bahwa kondisi

optimum untuk melakukan sintesis CMC dan juga CMS adalah berada pada kisaran temperatur 45 – 50 °C, sedangkan pati ubi cina masih terus memiliki kenaikan hingga temperatur 65 °C, dimana temperatur tersebut merupakan temperatur tertinggi yang dilakukan pada penelitian tersebut.

4.2 Pembahasan

Pati dan selulosa diketahui memiliki beberapa kelemahan apabila digunakan dalam bentuk murninya. Oleh karena itu penting untuk memodifikasi bentuk alami bahan dasar tersebut sebelum selanjutnya sintesis polimer superabsorben dilakukan. Hal ini berguna untuk memperbaiki sifat serta kelemahannya agar sesuai dengan yang diinginkan. Berkaitan dengan pembuatan material superabsorben, modifikasi yang umum dilakukan adalah karboksimetilasi. Modifikasi ini bertujuan untuk memunculkan gugus karboksimetil pada makromolekul pati atau selulosa yang dapat meningkatkan sifat hidrofilik yang dimiliki bahan alami tersebut sehingga mampu meningkatkan kemampuannya dalam hal penyerapan air (Sangseethong, *et al.*, 2018).

Derajat substitusi (DS) dalam proses sintesis *carboxymethyl cellulose* (CMC) atau *carboxymethyl starch* (CMS) adalah sebuah nilai atau parameter yang menunjukkan jumlah rata-rata gugus karboksimetil yang berhasil tersubstitusi per unit anhidroglukosa (AGU). DS menjadi salah satu penentu karakteristik dari suatu CMC dan CMS. Pada umumnya, DS dari CMC atau CMS yang diperoleh melalui reaksi alkalisasi dengan reagen eterifikasi monokloroasetat berada dalam rentang 0,4 – 1,3. Apabila nilai DS dari CMC atau CMS kurang dari 0,3, maka CMC atau CMS hanya akan larut di dalam alkali, sedangkan apabila nilai DS lebih dari sama dengan 0,4, maka CMC atau CMS dapat larut di dalam air (Setiawan & Musyanti, 1990; Waring & Parsons, 2001).

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian pengaruh parameter reaksi pada sintesis CMC dan CMS yang berasal dari beragam bahan dasar alam. Pada *review* ini telah dilakukan analisis terkait pengaruh parameter reaksi pada reaksi karboksimetilasi

sintesis CMC dan CMS dari beragam bahan dasar alam, meliputi pengaruh reagen alkalisasi, waktu reaksi, temperatur reaksi, dan juga reagen eterifikasi. **Tabel 4. 6** merupakan sajian data hasil analisis beberapa penelitian yang menghasilkan DS dengan nilai optimum untuk masing-masing parameter reaksi.

Tabel 4. 6 Hasil analisis parameter reaksi sintesis dengan nilai DS CMC dan CMS tertinggi.

Parameter reaksi	Variabel	Frekuensi COO ⁻ , cm ⁻¹	DS	RE	Penelitian
Reagen alkalisasi (NaOH)	NaOH 25%	1605	0,821	–	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006
Reagen eterifikasi	7 gram	–	1,403	–	Melisa, <i>et al.</i> , 2014
Waktu reaksi	240 menit	–	1,197	–	Melisa, <i>et al.</i> , 2014
Temperatur reaksi	45 °C	1605	0,821	–	Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006

Ditinjau dari data yang disajikan pada Gambar 4. 1, nilai DS tertinggi untuk parameter reaksi berupa penambahan reagen alkalisasi dicapai pada konsentrasi NaOH sebesar 25% dalam penelitian yang dilakukan oleh Pushpamalar dkk., yaitu sebesar 0,821. Pada penelitian tersebut, Pushpamalar dkk. (2006)

melakukan penelitian terkait sintesis CMC yang berasal dari ampas sagu. CMC hasil penelitian dikategorikan berpotensi untuk dijadikan bahan dasar pembuatan polimer superabsorben dikarenakan proses karbosimetilasi dinilai telah berhasil, dibuktikan dengan hasil pengujian FTIR yang menunjukkan terbentuknya ikatan absorpsi baru yang kuat pada *peak* 1605 cm^{-1} yang merupakan indikasi kehadiran gugus COO^- . Selain itu, nilai DS yang dihasilkan dari penelitian tersebut sesuai dengan standar CMC komersial dikarenakan angka 0,821 berada pada rentang standar mutu CMC menurut Tabel 2. 2.

Penggunaan reagen eterifikasi dengan nilai DS tertinggi dicapai oleh Melisa dkk. (2014). Pada studi sintesis CMC berbahan dasar tongkol jagung yang dilakukan Melisa dkk., terdapat enam variabel jumlah reagen eterifikasi yang digunakan, yaitu 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 gram. Pada penggunaan reagen eterifikasi berupa *sodium monochloroacetic acid* (SMCA) sebanyak 7 gram dalam penelitian tersebut mampu menghasilkan nilai DS tertinggi, yaitu sebesar 1,403. Dalam pertimbangan penggunaan bahan dasar CMC ataupun CMS guna pembuatan polimer superabsorben, CMC hasil penelitian ini kurang sesuai apabila dijadikan salah satu kandidatnya dikarenakan angka DS yang tidak mencapai standar mutu SNI 06-3736-1995, selain itu tidak terdapat hasil pengujian FTIR sehingga tidak dapat dilakukan analisis lebih lanjut mengenai gugus fungsi dalam penelitian terkait.

Analisis parameter reaksi berupa waktu reaksi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa CMC hasil penelitian Melisa, dkk. (2014) memiliki nilai DS tertinggi. Melisa dkk. melakukan penelitian terkait sintesis CMC yang berasal dari bahan alam berupa tongkol jagung manis. Waktu reaksi yang digunakan dalam penelitian adalah 60, 120, 180, 240, 300, dan 360 menit. Dari keenam variabel tersebut, waktu dengan lama 240 menitlah yang menghasilkan nilai DS tertinggi, yaitu sebesar 1,197. Angka ini cukup tinggi sehingga CMC yang dihasilkan hanya memenuhi standar mutu CMC yang berdasar pada SNI 06-3736-1995 untuk Mutu I. Untuk keperluan superabsorben, dimana standar yang

digunakan mengacu pada SNI 06-3736-1995 Mutu II karena berkaitan dengan penggunaannya dalam bidang industri komersil selain makanan, CMC hasil penelitian tidak memenuhi standar. Oleh karena itu, CMC hasil penelitian kurang sesuai apabila digunakan sebagai bahan dasar pembuatan polimer superabsorben. Selain itu, pada jurnal penelitian tidak tercantum hasil pengujian FTIR sehingga analisis lebih lanjut terhadap karakterisasi CMC tidak dapat dilakukan, seperti gugus fungsi yang mungkin terbentuk pada CMC.

Pushpamalar dkk. (2006) dalam penelitiannya terkait pengaruh temperatur reaksi pada sintesis CMC dari ampas sagu mendapatkan nilai DS tertinggi, yaitu sebesar 0,821 pada 45 °C. Angka ini merupakan angka optimum yang dicapai apabila dibandingkan dengan perlakuan temperatur lain dalam penelitiannya, yaitu pada 35, 40, 50, 55, dan 60 °C. Serupa dengan penelitian Pushpamalar dkk. pada pengaruh reagen alkalisasi dalam sintesis CMC, CMC dari ampas sagu yang dihasilkan dari penelitian pengaruh temperatur reaksi ini dapat dikategorikan sebagai bahan dasar pembuatan polimer superabsorben dikarenakan hasil FTIR yang membuktikan bahwa reaksi karboksimetilasi berhasil dilakukan dengan adanya gugus COO⁻ yang muncul pada *peak* 1605 cm⁻¹ dan juga nilai DS yang berhasil memenuhi standar CMC komersial sesuai dengan Tabel 2. 2.

Dari beberapa penelitian yang telah dianalisis, Adapun **Tabel 4. 7** menunjukkan kesesuaian karakteristik CMC dan CMS hasil penelitian dengan nilai DS tertinggi disesuaikan dengan kriteria untuk pembuatan material superabsorben berbahan dasar CMC dan juga CMS.

Tabel 4. 7 Penentuan parameter reaksi sintesis CMC dan CMS hasil analisis dengan kesesuaian kriteria material superabsorben.

Penelitian	Gugus COO ⁻	Rentang nilai DS
Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006	✓	✓
Melisa, <i>et al.</i> , 2014	✗	✗
Melisa, <i>et al.</i> , 2014	✗	✗
Pushpamalar, <i>et al.</i> , 2006	✓	✓

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan pengaruh parameter reaksi pada sintesis *carboxymethyl cellulose* (CMC) dan *carboxymethyl starch* (CMS) berbahan dasar alam telah dianalisis dan menghasilkan kesimpulan sehingga dapat menjawab tujuan dari *review* ini. Adapun kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Adanya reaksi alkalisasi dan eterifikasi pada sintesis CMC dan CMS mampu menghadirkan gugus fungsi COO^- yang ditandai dengan adanya *peak* pada spektrum inframerah dalam rentang frekuensi $1400 - 1640 \text{ cm}^{-1}$ pada pengujian FTIR sebagai tanda bahwa proses sintesis telah berhasil dilakukan. Selain itu, semakin tingginya parameter reaksi (waktu reaksi) hingga mencapai titik optimum mampu meningkatkan intensitas *peak* gugus fungsi COO^- terkait,
2. Penambahan nilai pada parameter reaksi (reagen alkalisasi, reagen eterifikasi, waktu reaksi, dan temperatur reaksi) mampu meningkatkan nilai derajat substitusi (DS) dari CMC dan CMS hingga mencapai titik optimum tertentu, sebelum pada akhirnya mengalami penurunan, Semakin tingginya nilai DS menunjukkan kualitas CMC dan CMS yang semakin baik. Selain itu, nilai tingginya nilai DS menunjukkan sifat hidrofilitas dari suatu CMC dan CMS yang semakin tinggi, menghasilkan peningkatan dalam kemampuannya untuk menyerap air sehingga siap untuk dilanjutkan guna pembuatan polimer superabsorben,
3. Penambahan nilai pada parameter reaksi (reagen alkalisasi, reagen eterifikasi, waktu reaksi, dan temperatur reaksi) mampu meningkatkan nilai efisiensi reaksi pada sintesis CMC dan CMS hingga mencapai titik optimum tertentu, sebelum pada akhirnya mengalami penurunan,

4. Kondisi optimum reaksi pada proses karboksimetilasi dapat ditentukan berdasarkan pada CMC dan CMS yang menghasilkan nilai DS tertinggi. Hal ini dikarenakan nilai DS tertinggi menunjukkan bahwa reaksi utama telah berjalan secara maksimal sebelum akhirnya terjadi penurunan.
 - a. Penggunaan reagen alkalisasi (NaOH) sebesar 25% menghasilkan nilai DS optimum sebesar 0,821 telah sesuai dengan kriteria penggunaan CMC dan CMS sebagai bahan dasar pembuatan polimer superabsorben,
 - b. Penggunaan reagen eterifikasi sebanyak 7 gram menghasilkan nilai DS optimum sebesar 1,403 kurang sesuai dengan kriteria penggunaan CMC dan CMS sebagai bahan dasar pembuatan polimer superabsorben,
 - c. Perlakuan waktu reaksi selama 240 menit menghasilkan nilai DS optimum sebesar 1,197 kurang sesuai dengan kriteria penggunaan CMC dan CMS sebagai bahan dasar pembuatan polimer superabsorben,
 - d. Perlakuan temperatur reaksi selama 45 °C menghasilkan nilai DS optimum sebesar 0,821 telah sesuai dengan kriteria penggunaan CMC dan CMS sebagai bahan dasar pembuatan polimer superabsorben.

5.2 Saran

Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan agar dapat diperbaiki dan dikembangkan secara lebih baik di kemudian hari, sehingga saran yang dapat diberikan adalah:

1. Perlu adanya penelitian dan analisis lebih lanjut terkait pengaruh parameter reaksi dengan saling mempertimbangkan parameter reaksi lain yang digunakan agar mendapatkan parameter yang optimum,

2. Melakukan penelitian secara langsung dengan memperhatikan komposisi bahan alam agar mendapatkan kandidat material dan perlakuannya yang optimal untuk aplikasi polimer superabsorben.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [SNI 06-3736-1995]. 1995. **Syarat Mutu Natrium Karboksimetil Selulosa Teknis**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Adel, A., Abou-Youssef, H., El-Gendy, A. & Nada, A. 2010. "Carboxymethylated Cellulose Hidrogel; Sorption Behavior and Characterization". **Nature and Science**, 8(8), pp. 244-256.
- Agency Environment. 2008. **Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK, Environment Agency**. <https://www.gov.uk/government/publications/disposable-and-reusable-nappies-in-the-uk-life-cycle-assessment> [Diakses 2 Februari 2020].
- Alam, M. N. & Christopher, L. P. 2018. "Natural Cellulose-Chitosan Crosslinked Superabsorbent Hydrogels with Superior Swelling Properties". **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, 6(7), pp. 8736-8742.
- Asl, S. A., Mousavi, M. & Labbafi, M. 2017. "Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose from Sugarcane Bagasse". **Journal of Food Processing & Technology**, 8(8), pp. 1-6.
- Assmann, A. 2013. **Physical Properties of Concrete Modified with Superabsorbent Polymers**, Stuttgart: Stuttgart University Press.
- Astrini, N., Anah, L. & Haryono, A. 2016. "Pengaruh Metilen Bisakrilamid (MBA) pada Pembuatan Superabsorben Hidrogel Berbasis Selulosa Terhadap Sifat Penyerapan Air". **Jurnal Kimia Kemasan**, 38(1), pp. 15-20.
- Ayuningtiyas, S., Desiyana, F. D. & MZ, S. 2017. "Pembuatan Karboksimetil Selulosa dari Kulit Pisang Kepok dengan Variasi Konsentrasi Natrium Hidroksida, Natrium Monokloroasetat, Temperatur dan Waktu Reaksi". **Jurnal Teknik Kimia USU**, 6(3), pp. 47-51.

-
- Badan Pusat Statistik. 2018. **Penduduk Usia 0-4 Tahun Balita di Jawa Timur Menurut Kabupaten Kota dan Jenis Kelamin 2017**.
<https://jatim.bps.go.id/statictable/2018/01/31/797/penduduk-usia-0-4-tahun-balita-di-jawa-timur-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-kelamin-2017.html>
[Diakses 2020 Januari 2020].
- Balaguer, M. P., Gómez-Estaca, J., Gavara, R. & Hernandez-Munoz, P. 2011. “Biochemical Properties of Bioplastics Made from Wheat Gliadins Cross-Linked with Cinnamaldehyde”. **J. Agric. Food Chem.**, Volume 59, p. 13212–13220.
- Bhattacharyya, D., Singhal, R. S. & Kulkarni, P. R. 1995. “A Comparative Account of Conditions for Synthesis of Sodium Carboxymethyl Starch from Corn and Amaranth Starch”. **Carbohydrate Polymers**, Volume 27, p. 247–253.
- Biswal, D. R. & S. R. P. 2004. “Characterisation of Carboxymethyl Cellulose and Polyacrylamide Graft Copolymer”. **Carbohydrate Polymers**, Volume 57, pp. 379-387.
- Buchanan, K. J., Hird, B. & Letcher, T. M. 1986. “Crosslinked poly (sodium acrylate) hydrogels”. **Polymer Bulletin**, 15(4), pp. 325-332.
- Buchholz, F. L. & Graham, A. T. 1997. **Modern Superabsorbent Polymer Technology**. Hoboken: Wiley.
- Budyk, Y. & Fullana, A. 2019. “Hydrothermal Carbonization of Disposable Diapers”. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 7(5), p. 103341.
- Buzanowski, W. C. *et al.* 1994. “Determination of Sodium Polyacrylate by Pyrolysis-gas Chromatography”. **Journal of Chromatography A**, 677(2), pp. 355-364.
- Campbell, R., Seymour, J., Stone, L. & Milligan, M. 1987. “Clinical Studies Disposable Diapers Containing Gelling Material: Evaluation on Effect on Infant Skin Condition”.
-

-
- Journal of the American Academy of Dermatology**, 17(6), pp. 978-987.
- Canisag, H. 2015. **Bio-Crosslinking Of Starch Films With Oxidized**, Lincoln: University of Nebraska.
- Capitani, D. *et al.*, 2000. "13C Solid-state NMR Determination of Crosslinking Degree in Super Absorbing Cellulose-based Networks". **Macromolecules**, 33(2), pp. 430-437.
- Chang, C., Duan, B., Cai, J. & Zhang, L. 2010. "Superabsorbent Hydrogels Based on Cellulose for Smart Swelling and Controllable Delivery". **European Polymer Journal**, Volume 46, pp. 92-100.
- Chang, S. C. & Yoo, J. S. 1999. "Measurement and Calculation of Swelling Equilibria for Water/Poly(Acrylamide-Sodiummallysufonate) Systems". **Korean Journals Chemical Engineering**, Volume 16.
- Chatterjee, P. & Gupta, B. 2002. **Textile Science and Technology: Absorbent Technology**. 1 ed. Amsterdam: Elsevier Science.
- Chen, J. & Jane, J. 1994. "Preparation of Granular Cold-water-soluble Starches by Alcoholic-alkaline Treatment". **Cereal Chem.**, 71(6), pp. 623-626.
- Dianrifitya, N. & Putri, R. 2014. "Pemanfaatan Selulosa Dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao* L.) Sebagai Bahan Baku Pembuatan CMC (Carboxymethyl Cellulose) Cellulose Utilization In Cacao Pod Husk (*Theobroma Cacao* L.) As Raw Material For CMC (Carboxymethyl Cellulose) Synthesis". **Jurnal Pangan Dan Agroindustri**, 2(3), pp. 34-42.
- Ebewele, R. O. 2000. **Polymer Science and Technology**. Florida: CRC Press LLC.
- Ecological Observation and Wetlands Conservation. 2019. **Times Indonesia**.
[https://www.timesindonesia.co.id/read/news/197588/ecoton-dorong-pt-unicharm-indonesia-kembangkan-popok-ramah-](https://www.timesindonesia.co.id/read/news/197588/ecoton-dorong-pt-unicharm-indonesia-kembangkan-popok-ramah)
-

- lingkungan
[Diakses 17 Januari 2020].
- Edana. 2008. **Sustainability Report 2007-2008: Absorbent Hygiene Products**.
<http://www.edana.org/docs/defaultsource/default-document-library/sustainability-report-2007-2008-absorbenthygiene-products.pdf?Sfvrsn=2> Google Sc
[Diakses 13 Januari 2020].
- Eliasson, A. C. & Gudmundsson, M. 2006. “Starch: Physicochemical and Functional Aspects. In: Eliasson, A-C (Ed)”. **Carbohydrates in Food**. Boca Raton: CRC Press, Volume 2, pp. 391-469.
- Elliot, M. 1997. **Superabsorbent Polymers**. New York: BASF Product Development Scientist.
- Elliot, M. 2010. **Superabsorbent Polymers**. New York: BASF Product Development Scientist.
- Fachrudin, R. 2017. **Produksi Pati Na-Karboksimetil Dengan Perbedaan Tipe Pengadukan Pada Tahap Alkalisasi**, Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Fennema, O. 1976. **Principles of Food Science**. Basset: Marcel Dekker, Inc.
- Fitriani, S. 2018. “Daya Pembengkakan Serta Sifat Pasta dan Termal Pati Sagu, Pati Beras dan Pati Ubi Kayu”. **Jurnal Teknologi dan Industri Pangan**, 3(1), pp. 41-48.
- Gao, D. 2003. **Superabsorbent Polymer Composite (SAPC) Materials and Their Industrial and High-Tech Applications**. Freiberg: Technische Universitat Bergakademie.
- Heinze, T. Pfeiffer, K., Liebert, T. & Heinze, U., 1999. “Effective approaches for estimating the functionalization pattern of carboxymethyl starch of different origin”. **Starch/Staerke**, Volume 51, pp. 11-16.
- Indonesia Water Community of Practice. 2017. **VOA Indonesia**.
<https://www.voaindonesia.com/a/sampah-popok-bayi->

- cemari-sungai-surabaya/3942706.html
[Diakses 17 Januari 2020].
- Jockusch, S. *et al.* 2009. "Photoinduced Surface Cross-linking of Superabsorbent Polymer Particles". **Journal of Applied Polymer Science**, 111(5), pp. 2163-2170.
- John, G. F. 2011. **Towards Improved Application of Super Absorbent Polymers in Agriculture and Hydrology: A Cross-Disciplinary Approach**, Auburn: Auburn University.
- Jones, M. 2005. **Organic Chemistry**. 3 ed. New York: Norton.
- Kamat, M. & Malkani, R. 2003. "Disposable Diapers: A Hygienic Alternative". **Indian Journal of Pediatrics**, 70(11), pp. 879-880.
- Khalil, M. I., Hashem, A. & Hebeish, A. 1990. "Carboxymethylation of maize starch". **Starch/Stärke**, Volume 42, pp. 60-63.
- Kondo, T. 1997. "The Assignment of IR Absorption Bands due to Free Hydroxyl Groups in Cellulose". **Cellulose**, Volume 4, pp. 281-292.
- Kuutti, L. 2013. "Cellulose, Starch and Their Derivatives for Industrial Applications: Structure-property Studies". **VTT Science**, Volume 31, p. 72.
- Lawal, O. S. *et al.* 2009. "Hydrogels Based on Carboxymethyl Cassava Starch Cross-Linked with Di- or Polyfunctional Carboxylic Acids: Synthesis, Water Absorbent Behavior and Rheological Characterization". **European Polymer Journal**, 45(12), pp. 3399-3408.
- Leite, T. D., Nicoletti, J. F., Penna, A. L. B. & Franco, C. M. L. 2012. "Effect of addition of Different Hydrocolloids on Pasting, Thermal, and Rheological Properties of Cassava Starch". **Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas**, 32(3), pp. 579-587.
- Li, S., Mujiyambereb, J. M. V. & Liuc, M. 2011. "Synthesis of Carboxymethyl Starch with High Degree of Substitution by

-
- a Modified Dry Process”. **Advanced Materials Research**, Volume 233-235, pp. 306-310.
- Li, X. *et al.* 2010. **Carbohydrate Polymers**, Volume 80, p. 768.
- Liu, Q. 2005. **Understanding Starches and Their Role in Foods, in Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties and Applications**. Didcot: Taylor & Francis Group, LLC.
- Machová, E., Bystrický, P., Malovíková, A. & Bystrický, S. 2014. “Preparation and Characterization Of Carboxymethyl Derivatives of Yeast Mannans in Aqueous Solutions”. **Carbohyd. Polym.**, Volume 110, p. 219–223.
- Melisa, Bahri, S. & Nurhaeni. 2014. “Optimasi Sintesis Karboksimetil Selulosa Dari Tongkol Jagung Manis (*Zea Mays L Saccharata*)”. **Online Jurnal of Natural Science**, 3(2), pp. 70-78.
- Methacanon, P., Chaikumpollert, O., Thavorniti, P. & Suchiva, K. 2003. “Hemicellulosic Polymer from Vetiver Grass and Its Physicochemical Properties”. **Carbohydrate Polymers**, Volume 54, pp. 335-342.
- Naves, A. & Petri, D., 2005. “The Effect of Molecular Weight And Degree of Substitution on the Interactions Between Carboxymethyl Cellulose and Cetyltrimethylammonium Bromide”. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 254(1-3), pp. 207-14.
- Neelam, K., Vijay, S. & Lalit, S. 2012. “Various Techniques for the Modification of Starch and the Applications of Its Derivatives”. **International Research Journal of Pharmacy**, 3(5), pp. 25-31.
- Nordin, N. A., Rahman, N. A., Talip, N. & Yacob, N. 2018. “Citric Acid Cross-Linking of Carboxymethyl Sago Starch Based Hydrogel for Controlled Release Application”. **Macromol. Symp.**, 382(1), pp. 1-8.
- Nur’ain, Nurhaeni & Ridhay, A. 2017. “Optimization of Reaction to the Synthesis of Carboxymethyl Cellulose (CMC) from Corn Stalk (*Zea mays L.*)”. **KOVALEN**, 3(2), pp. 112-121.
-

-
- Othmer, K. 2004. **Encyclopedia of Chemical Technology**. 4 ed. New York: Wiley and Sons Inc.
- Ott & Spurlin. 1995. **Cellulose and Cellulose Derivative**. Vol. 5 Part 2 ed. New York: Inter Science Publisher Inc.
- Parvathy, P. C., Jyothi, A. N., John, A. N. & Sreekumar, J., 2014. "Cassava Starch Based Superabsorbent Polymer as Soil Conditioner: Impact on Soil Physicochemical and Biological Properties and Plant Growth". **Clean – Soil, Air, Water**, 42(11), pp. 1610-1617.
- Pecsok, R. 1976. **Modern methods of chemical analysis**. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Pérez, S. & Bertoft, E. 2010. "The Molecular Structures of Starch Components and Their Contribution to the Architecture of Starch Granules: A Comprehensive Review". **Starch/Staerke**, 62(8), pp. 389-420.
- Pribadi, T. 1985. "Pembuatan CMC dan Pemurnian Sodium Karboksimetil Selulosa (CMC)". **Berita Selulosa**, XXI(4), pp. 135-140.
- Pushpamalar, V., Langford, S., Ahmad, M. & Lim, Y. 2006. "Optimization of reaction conditions for preparing carboxymethyl cellulose from sago waste". **Carbohydrate Polymers**, Volume 64, p. 312–318.
- Rachtanapun, P., Simasatitkul, P., Chaiwan, W., & Watthanaworasakun Y. 2012. "Effect of sodium hydroxide concentration on properties of carboxymethyl rice starch". **International Food Research Journal**. Volume 19(3), pp. 923-931.
- Rivas-Orta, V. *et al.* 2008. "Hydrogels from Poly (Acrylic Acid)/Carboxymethyl Cellulose & Poly (Acrylic Acid)/Methyl Cellulose". **Journal of Material**, Volume 4, pp. 1-9.
- Rohaeti, E. 2005. **Karakterisasi Biodegradasi Polimer**, Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Safitri, D., Rahim, E., Prismawiryanti & Sikanna, R. 2017. "Synthesis of Carboxymethyl Cellulose (CMS) of Durian
-

-
- Peel (Durio Zibethinus) Cellulose”. **KOVALEN**, 3(1), pp. 58-68.
- Sangseethong, K., Chatakanonda, P. & Sriroth, K. 2018. “Superabsorbent Hydrogels from Rice Starches with Different Amylose Contents”. **Starch - Stärke**, Volume 1700244.
- Sangseethong, K., Ketship, S. & Sriroth, K. 2005. “The Role of Reaction Parameter on the Preparation and Properties of Carboxymethyl Cassava Starch”. **Starch**, Volume 57, pp. 84-93.
- Saputra, A., Qadhayna, L. & Pitaloka, A. 2014. “Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose (CMC) from Water Hyacinth Using Ethanol-Isobutyl Alcohol Mixture as the Solvents”. **International Journal of Chemical Engineering and Applications. E Journal Publishing**, 5(1), pp. 36-40.
- Seidel, C. *et al.* 2001. “Influence of the Cross-linking Agent on the Gel Structure of Starch Derivatives”. **Starch/Staerke**, 53(7), p. 305–10.
- Setiawan, P. & Musyanti. 1990. **Berita Selulosa**. Erlangga: Jakarts.
- Shanmugasundaram, O. & Gowda, R. M. 2011. “Study of Bamboo and Cotton Blended Baby Diapers”. **Research Journal of Textile and Apparel**, 15(4), pp. 37-43.
- Sharhanis, A. *et al.* 2011. **Sustainability Assesments: Seven Generation Diapers versus gDiapers**, Burlington: The University of Vermont.
- Sinha, S. 2018. “Biodegradable Superabsorbents: Methods of Preparation and Application—A Review”. **Fundamental Biomaterials: Polymers**, pp. 307-321.
- Smith, A. M. 2001. “The Biosynthesis of Starch Granules”. **Biomacromolecules**, 2(2), pp. 335-341.
- Spychaj, T. Wilpiszewska, K. & Zdanowicz, M., 2013. **Starch/Stärke**, Volume 65, p. 22.
-

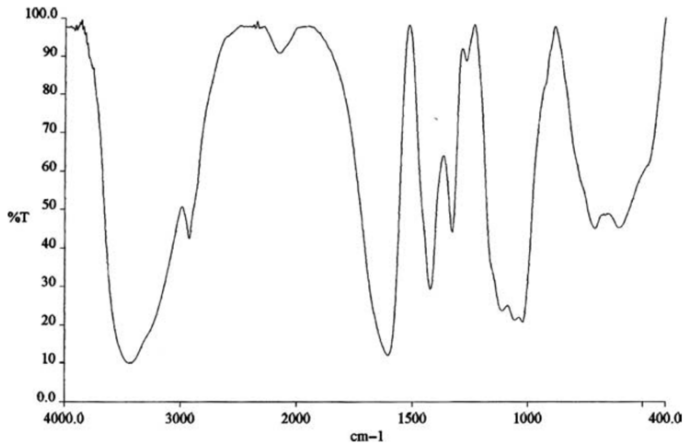
-
- Stevens, M. 2001. **Kimia Polimer**. 1 ed. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Theis, T. *et al.* 2017. “Exocellular (1→6)-β-d-glucan (IASIDIPODAN): Carboxymethylation, Thermal Behavior, Antioxidant and Antimicrobial Activity”. **Am. J. Immunol.**, Volume 3, pp. 19-33.
- Thomas, G. M., Paquita, E. M. & Thomas, J. P. 2002. **Cellulose ethers. Encyclopedia of polymer science and technology**. New York: Wiley.
- Tijssen, C. J., Kolk, H. J., Stamhuis, E. J. & Beenackers, A. A. C. M. 2001. “An Experimental Study on the Carboxymethylation of Granular Potato Starch in Non-Aqueous Media”. **Carbohydrate Polymers**, Volume 45, pp. 219-226.
- Wambui, K. E., Joseph, M. & Makindi, D. S. 2015. “Soiled Diapers Disposal Practices among Caregivers in Poor and Middle Income Urban Settings”. **International Journal of Scientific and Research Publications**, 5(10), pp. 1-10.
- Wang, L. *et al.* 2010. **Carbohydrate Polymers**, Volume 80, p. 174.
- Waring, M. & Parsons, D. 2001. “Physico-Chemical Characterization of Carboxymethylated Spun Cellulose Fibres”. **Biomaterial**, Volume 22, pp. 903-912.
- Wijayani, A., Khoirul, U. & Siti, T. 2005. “Karakterisasi Carboxymethyl Cellulose (CMC) dari Eceng Gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solms)”. **Indonesian Journal of Chemistry**, 5(3), pp. 228-231.
- Winarno, F. G. 1992. **Kimia Pangan dan Gizi**. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Xiao, X. *et al.* 2017. “One-Step Method to Prepare Starch-Based Superabsorbent Polymer for Slow Release of Fertilizer”. **Chemical Engineering Journal**, Volume 309, p. 607–616.
- Xue, W., Champ, S. & Huglin, M. B. 2001. **Polymer**, 42(3665).
- Yaacob, B., Mohd Amin, M. C. I., Hashim, K. & Abu Bakar, B. 2011. “Optimization of Reaction Condition for
-

- Carboxymethylated Sago Starch”. **Iranian Polymer Journal**, 20(3), pp. 195-204.
- Yang, L. *et al.* 2011. “Carboxymethylation of Polysaccharides from *Auricularia Auricula* and Their Antioxidant Activities In Vitro”. **Int. J. Biol. Macromol.**, Volume 49, p. 1124–1130.
- Yanli, W., Wenyuan, G. & Xia, L. 2009. “Carboxymethyl Chinese yam starch: synthesis, characterization, and influence of reaction parameters”. **Carbohydrate Research**, Volume 344, p. 1764–1769.
- Yokota., H. 1985. “The Mechanism of Cellulose Alkalinization in the Isopropyl Alcohol-Water-Sodium Hydroxide-Cellulose System”. **Wiley Journal of Applied Polymer Science**, 30(1), pp. 263-277.
- Zhang, J., Li, D., Zhang, X. & Shi, Y. 1992. “Solvent Effect on Carboxymethylation of Cellulose”. **Journal of Applied Polymer Science**, Volume 49, pp. 741-745.
- Zhao, H., Cheng, F., Li, G. & Zhang, J. 2003. “Optimization of A Process for Carboxymethyl Cellulose (CMC) Preparation in Mixed Solvents”. **International Journal of Polymeric Materials**, 52(9), pp. 749-59.
- Zhou, X., Yang, J. & Qu, G. 2007. “Study on Synthesis and Properties of Modified Starch Binder for Foundry”. **J Mater Process Technol.**, 183(2-3), p. 407–411.
- Zohuriaan-Mehr, M. J. & Kabiri, K. 2008. “Superabsorbent Polymer Materials: A Review”. **Iranian Polymer Journal**, 17(6), pp. 451-477.

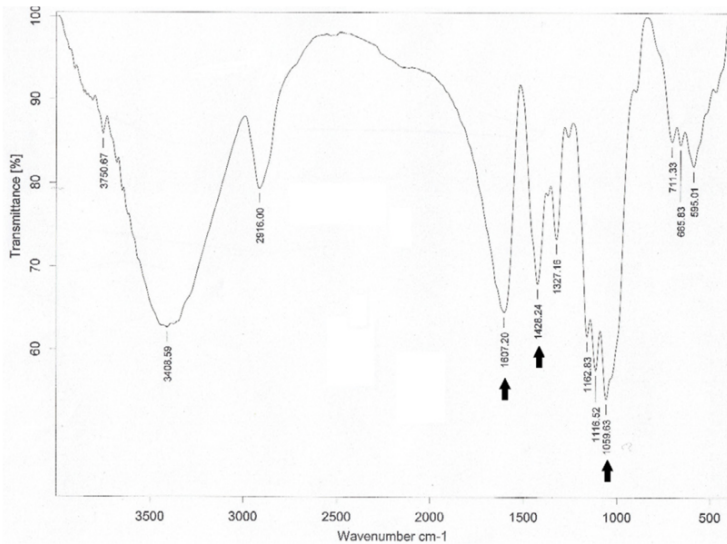
LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengujian FTIR.

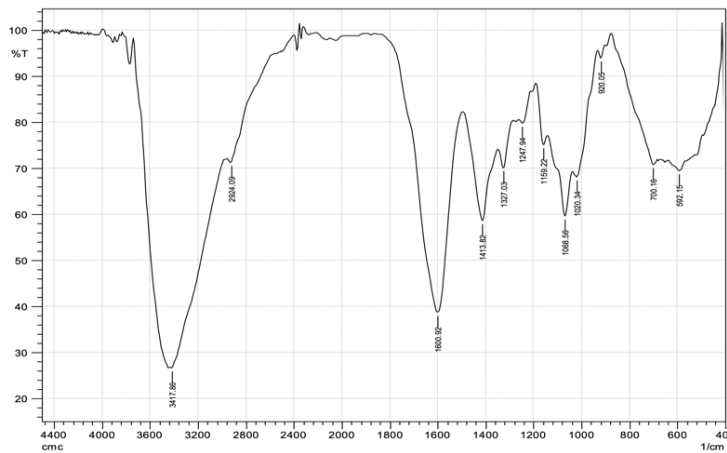
Gambar 1. Spektrum FTIR Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Ampas Sagu (Pushpamalar, *et al.*, 2006)



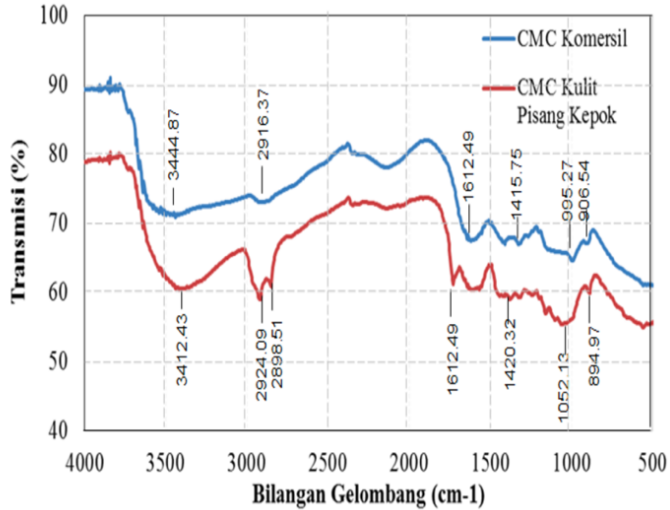
Gambar 2. Spektrum FTIR Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Ampas Tebu (Asl, *et al.*, 2017)



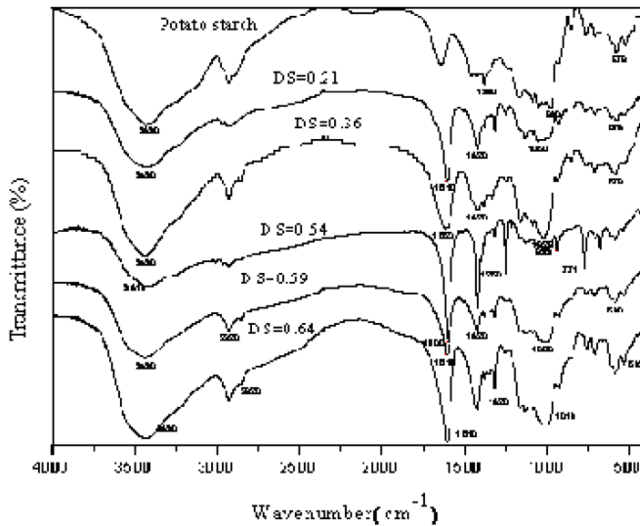
Gambar 3. Spektrum FTIR Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Kulit Durian (Safitri, *et al.*, 2017).



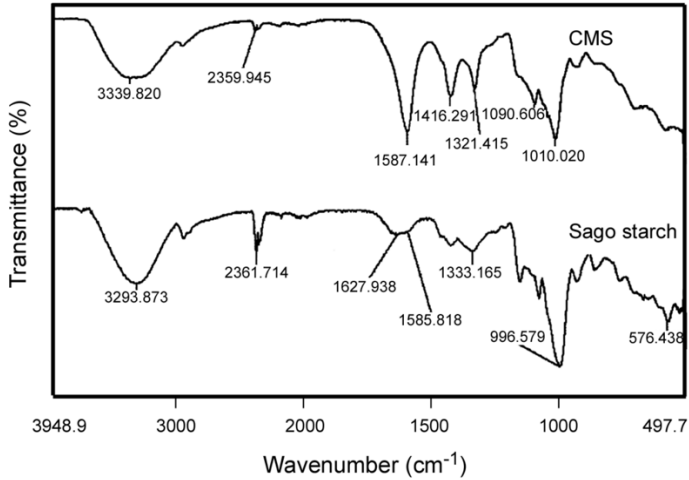
Gambar 4. Spektrum FTIR Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Kulit Pisang (Ayuningtiyas, *et al.*, 2017).



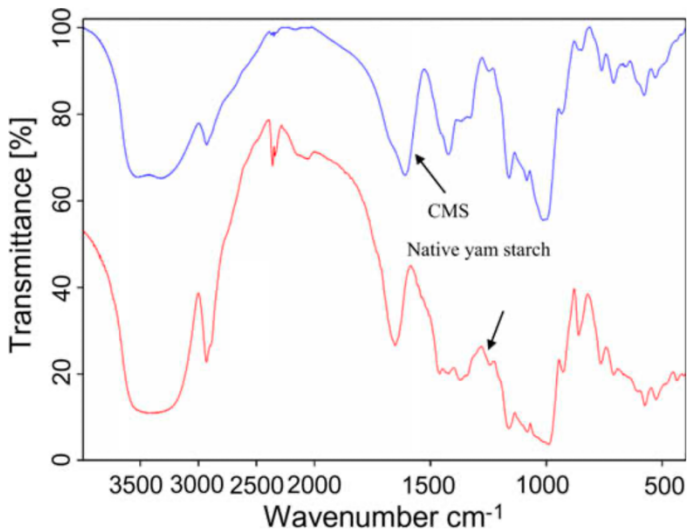
Gambar 5. Spektrum FTIR Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Kentang (Li, *et al.*, 2011).



Gambar 6. Spektrum FTIR Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Sagu (Yaacob, *et al.*, 2011).



Gambar 7. Spektrum FTIR Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Ubi Cina (Yanli, *et al.*, 2009).



Lampiran 2. Data Hasil Pengujian Derajat Substitusi (DS)
Penelitian Penambahan Reagen Alkalisasi (NaOH).

**Tabel 1. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC
Berbahan Dasar Ampas Sagu dengan Variasi Penambahan
Reagen Alkalisasi (Pushpamalar, *et al.*, 2006).**

Konsentrasi NaOH, %	Derajat Substitusi (DS)
10	0,513
20	0,767
25	0,821
30	0,768
35	0,723
40	0,649

**Tabel 2. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC
Berbahan Dasar Ampas Tebu dengan Variasi Penambahan
Reagen Alkalisasi (Asl, *et al.*, 2017).**

Konsentrasi NaOH, %	Derajat Substitusi (DS)
20	0,45
30	0,78
40	0,65
50	0,59

**Tabel 3. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC
Berbahan Dasar Kulit Pisang dengan Variasi Penambahan
Reagen Alkalisasi (Ayuningtias, *et al.*, 2017).**

Konsentrasi NaOH, %	Derajat Substitusi (DS)
10	0,75
20	0,8124
25	0,79

Konsentrasi NaOH, %	Derajat Substitusi (DS)
30	0,45

Tabel 4. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Beras dengan Variasi Penambahan Reagen Alkalisasi (Rachtanapun, *et al.*, 2012).

Konsentrasi NaOH, %	Derajat Substitusi (DS)
10	0,08
20	0,23
30	0,3
40	0,38
50	0,31

Tabel 5. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Singkong dengan Variasi Penambahan Reagen Alkalisasi (Fachrudin, 2017).

Konsentrasi NaOH, mol/mol AGU	Derajat Substitusi (DS)
1,8	0,50±0,02
1,9	0,53±0,01

Tabel 6. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Sagu dengan Variasi Penambahan Reagen Alkalisasi (Fachrudin, 2017).

Konsentrasi NaOH, mol.mol AGU	Derajat Substitusi (DS)
1,8	0,54±0,02
1,9	0,55±0,02

Tabel 7. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Ubi Cina dengan Variasi Penambahan Reagen Alkalisasi (Yanli, *et al.*, 2009).

Konsentrasi NaOH, mol/mol AGU	Derajat Substitusi (DS)
1,2	0,078
1,6	0,18
2	0,23
2,4	0,4
2,8	0,21
3,2	0,16

Lampiran 3. Data Hasil Pengujian Derajat Substitusi (DS) Penelitian Penambahan Reagen Eterifikasi.

Tabel 8. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Ampas Sagu dengan Variasi Penambahan Reagen Eterifikasi (Pushpamalar, *et al.*, 2006).

Jenis Reagen Eterifikasi	Jumlah Reagen Eterifikasi, gr	Derajat Substitusi (DS)
Sodium monokloroasetat	2	0,328
	3	0,479
	4	0,515
	5	0,622
	6	0,768
	7	0,7

Tabel 9. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Kulit Durian dengan Variasi Penambahan Reagen Eterifikasi (Safitri, *et al.*, 2017).

Jenis Reagen Eterifikasi	Jumlah Reagen Eterifikasi, gr	Derajat Substitusi (DS)
	5	0,52
	6	0,76
Sodium monokloroasetat	7	1,17
	8	0,93
	9	0,84

Tabel 10. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Tongkol Jagung dengan Variasi Penambahan Reagen Eterifikasi (Melisa, *et al.*, 2014).

Jenis Reagen Eterifikasi	Jumlah Reagen Eterifikasi, gr	Derajat Substitusi (DS)
	5	0,6
	6	0,65
Sodium monokloroasetat	7	1,403
	8	0,92
	9	0,78
	10	0,7

Lampiran 4. Data Hasil Pengujian Derajat Substitusi (DS)
Penelitian Variasi Waktu Reaksi.

**Tabel 11. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC
Berbahan Dasar Ampas Sagu dengan Variasi Waktu Reaksi
(Pushpamalar, *et al.*, 2006).**

Waktu Reaksi, menit	Derajat Substitusi (DS)
60	0,563
90	0,592
120	0,632
150	0,705
180	0,768
210	0,588
240	0,586

**Tabel 12. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC
Berbahan Dasar Batang Jagung dengan Variasi Waktu
Reaksi (Nur'ain, *et al.*, 2017).**

Waktu Reaksi, menit	Derajat Substitusi (DS)
60	0,13
120	0,48
180	0,5
240	0,76
300	0,63
360	0,3

Tabel 13. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Kulit Durian dengan Variasi Waktu Reaksi (Safitri, *et al.*, 2017).

Waktu Reaksi, menit	Derajat Substitusi (DS)
60	0,5
120	0,74
180	1,07
240	1,2
300	0,95

Tabel 14. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Kulit Pisang dengan Variasi Waktu Reaksi (Ayuningtiyas, *et al.*, 2017).

Waktu Reaksi, menit	Derajat Substitusi (DS)
60	0,33
120	0,61
180	0,66
240	0,43

Tabel 15. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Sagu dengan Variasi Waktu Reaksi (Nordin, *et al.*, 2018).

Waktu Reaksi, menit	Derajat Substitusi (DS)
60	0,3
120	0,33
180	0,44
240	0,38

Tabel 16. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Ubi Cina dengan Variasi Waktu Reaksi (Yanli, *et al.*, 2009).

Waktu Reaksi, menit	Derajat Substitusi (DS)
30	0,075
60	0,14
90	0,175
120	0,24
150	0,32
180	0,325
240	0,3

Tabel 17. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Tongkol Jagung dengan Variasi Waktu Reaksi (Melisa, *et al.*, 2014).

Waktu Reaksi, menit	Derajat Substitusi (DS)
60	0,3
120	0,4
180	0,52
240	1,197
300	1,05
360	1,02

Lampiran 5. Data Hasil Pengujian Derajat Substitusi (DS) Penelitian Variasi Temperatur Reaksi.

Tabel 18. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Ampas Sagu dengan Variasi Temperatur Reaksi (Pushpamalar, *et al.*, 2006).

Temperatur Reaksi, °C	Derajat Substitusi (DS)
35	0,578

Temperatur Reaksi, °C	Derajat Substitusi (DS)
40	0,589
45	0,821
50	0,633
55	0,644
60	0,569

Tabel 19. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Kulit Pisang dengan Variasi Temperatur Reaksi (Ayuningtyas, *et al.*, 2017).

Temperatur Reaksi, °C	Derajat Substitusi (DS)
35	0,48
40	0,71
45	0,78
50	0,42

Tabel 20. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Kentang dengan Variasi Temperatur Reaksi (Li, *et al.*, 2011).

Temperatur Reaksi, °C	Derajat Substitusi (DS)
19,85	0,39
29,85	0,58
39,85	0,65
49,85	0,78
59,85	0,71
69,85	0,63

Tabel 21. Derajat Substitusi Hasil Penelitian Sintesis CMC Berbahan Dasar Pati Ubi Cina dengan Variasi Temperatur Reaksi (Yanli, *et al.*, 2009).

Temperatur Reaksi, °C	Derajat Substitusi (DS)
35	0,12
40	0,195
45	0,21
50	0,24
55	0,251
60	0,4
65	0,42

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan, bantuan, bimbingan, serta saran dari berbagai pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dengan setulus-tulusnya, kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan kasih, berkat, dan karunia-Nya, penulis telah dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Kedua orang tua saya, Papa Eddy dan Mama Yanti, yang sangat penulis cintai dan telah membesarkan penulis dengan penuh kasih sayang dan selalu mendukung atas segala keputusan yang penulis ambil, serta memberikan dukungan moral dan juga spiritual kepada penulis semasa hidupnya, termasuk dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini hingga selesai,
3. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing 1 penulis, yang telah meluangkan waktunya untuk banyak membimbing penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini hingga selesai dengan penuh kesabaran serta memberikan motivasi dan juga semangat,
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., yang telah banyak memberikan saran dan masukkan pada Tugas Akhir sebagai dosen pembimbing 2 penulis dengan rendah hati dan penuh sabar,
5. Seluruh dosen pengajar Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS, yang tidak dapat disebutkan satu persatu, karena telah memberikan segala ilmu yang dimiliki dalam proses belajar mengajar juga menginspirasi penulis sejak hari pertama berkuliah,
6. Gary Nathaniel Reynara dan Sakinah Mirfa Solehudin Putri, karena telah senantiasa berada di sisi penulis dan banyak membantu penulis dari awal masa kuliah hingga menjadi *partner* dalam Tugas Akhir,

7. Adinda Pramesti dan Galang Setia Adi, yang telah menjadi sahabat terbaik dan suportif sejak penulis berada di bangku SMA, yang selalu berada di sisi penulis dan menghibur dalam segala keadaan.
8. Alya, Andiani, Eka, Khansa Maudy, dan Memes, yang telah menjadi sahabat penulis sejak duduk di bangku SMA, yang senantiasa menemani dan mendukung penulis,
9. Safira Firdausi dan Siti Solekhah, yang telah menjadi sahabat baik penulis sejak awal berkuliah di ITS, berada di sisi penulis setiap hari untuk menampung segala cerita, menghibur, dan membantu penulis dalam masa perkuliahan,
10. Cut Irmafitri dan Yanne Indriati, karena telah menjadi sahabat baik dan membantu penulis sejak awal berkuliah di ITS,
11. Anggota Laboratorium Material Inovatif 2019/2020, yang telah banyak membantu, menemani, dan menghibur penulis selama pengerjaan Tugas Akhir,
12. Keluarga Matrice generasi ke-18, yang telah menjadi keluarga pertama penulis di ITS dan senantiasa menemani serta banyak membantu penulis dalam melewati suka-duka masa perkuliahan, sekaligus memberikan kebahagiaan di hari-hari perkuliahan,
13. Keluarga besar HMMT FTIRS ITS, yang telah memberikan ruang untuk penulis berkembang di masa kuliahnya dan memberikan banyak inspirasi,
14. Keluarga besar BEM FTIRS ITS 2017/2018, terutama Mas dan Mbak Kabinet serta teman-teman staf Departemen Sosial Masyarakat, yang telah menjadi tempat untuk berkembang dan memberikan banyak pembelajaran serta cerita di masa perkuliahan,
15. Keluarga besar BEM FTIRS ITS 2018/2019, terutama Kabinet Interaksi dan Pengurus Departemen Komunikasi dan Informasi, yang telah mengisi masa perkuliahan

- penulis dengan cerita tak terlupakan dan banyak memberi pembelajaran serta pengalaman berharga kepada penulis,
16. Keluarga besar Pemandu FTIRS ITS, terutama Panah Emas, yang telah memberikan pengalaman berharga kepada penulis untuk mengembangkan diri serta kesan cerita yang selalu menginspirasi dan menghibur,
 17. Keluarga PSDM – SC Kaderisasi HMMT FTIRS 2017/2018, yang telah menjadikan penulis memiliki pikiran-pikiran baru serta memberikan pelajaran dan juga pengalaman berharga, serta candatawa yang menemani masa perkuliahan,
 18. Seluruh pihak yang ada di kehidupan penulis, yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih banyak atas jasa dan cerita yang diberikan!

Surabaya, 11 Agustus 2020
Penulis

Ria Natasha

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ria Natasha. Lahir di Surabaya pada tanggal 21 Desember 1998, penulis merupakan anak satu-satunya dari pasangan Eddy Pranoto dan Sri Ramadan Yanti. Semasa hidupnya, penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kertajaya Surabaya, SMPN 1 Surabaya, SMAN 2 Surabaya, sebelum kemudian mengikuti SBMPTN dan diterima untuk melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dengan bidang Teknik Material dan Metalurgi.

Dalam masa perkuliahannya, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan, seperti kegiatan pelatihan, organisasi, dan juga kepanitiaan. Pada tahun kedua dan ketiganya menjadi mahasiswa, penulis tergabung dalam BEM FTIRS ITS, kemudian diamanahi menjadi Kepala Biro Media Informasi pada periode 2018/2019. Selain itu, penulis juga pernah terlibat dalam *Indonesian Corrosion Association* (INDOCOR) ITS SC 2017/2018 sebagai staf internal, *Steering Committee* Kaderisasi HMMT FTIRS ITS 2017/2018, Pemandu ITS, serta menjadi Asisten Laboratorium Kimia Material 2018/2019.

Penulis memiliki pengalaman profesional dalam bidang material, yaitu melakukan penelitian “Simulasi Modifikasi Desain *Track-Tiedown* pada Struktur Lantai Pesawat Kargo Boeing 737-800” sebagai topik kerja praktik di PT GMF AeroAsia Tbk. pada Januari 2019 – Februari 2019. Di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, penulis mengambil bidang Material Inovatif dengan melakukan *review* Tugas Akhir mengenai material polimer, berjudul “Review Pengaruh Parameter Reaksi Sintesis Terhadap Karakteristik CMC dan CMS untuk Aplikasi Polimer Superabsorben Dari Bahan Alam”.

E-mail: riaa.natasha@gmail.com