

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ampas Tebu

Ampas tebu merupakan produk samping dari proses ekstraksi cairan tebu dari bagian batang tanaman tebu. Pada pabrik pengolahan tebu, sebesar 90% ampas tebu dapat dihasilkan dari setiap tebu dimana gula yang dimanfaatkan hanya 5%, sisanya berupa tetes tebu dan air (Herawati dan Melani, 2019). Ampas tebu dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ampas Tebu

Ampas tebu merupakan limbah organik yang banyak dihasilkan pada industri pengolahan gula di Indonesia. Ampas tebu memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi selain merupakan hasil limbah pabrik pengolahan tebu, ampas tebu juga mudah didapat, murah, tidak membahayakan kesehatan, dan dapat terdegradasi secara alami sehingga dengan pemanfaatan ampas tebu sebagai sumber selulosa pada pembuatan karboksimetil selulosa untuk plastik *biodegradable* mampu mengatasi permasalahan lingkungan terutama pada penggunaan plastik sintetik. Struktur pembentuk ampas tebu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

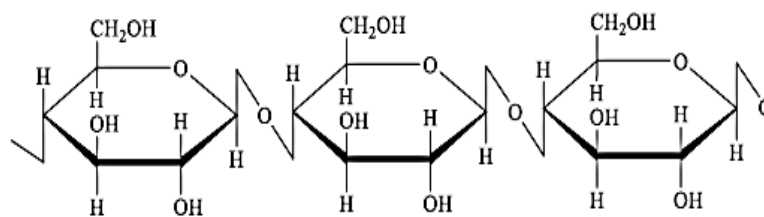
Tabel 2.1 Komposisi Ampas Tebu

Komponen	Kandungan (%)
Selulosa	40-50%
Hemiselulosa	25-35%
Lignin	15-20%

(Sumber: Asl dkk., 2017)

2.2 Selulosa

Selulosa adalah polimer yang memiliki rumus kimia $(C_6H_{10}O_5)_n$. Selulosa berbentuk serat berwarna putih, tidak larut dalam air panas dan dingin, alkali, dan pelarut organik netral seperti alkohol dan benzene (Fadillah, 2018). Molekul selulosa memiliki struktur berbentuk linier dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan-ikatan hidrogen, sehingga ikatan hidrogen ini menyebabkan selulosa menjadi berukuran besar dan memiliki sifat kekuatan tarik yang tinggi (Putri, 2016). Selulosa terbentuk karena adanya struktur kristalin dan amorf serta pembentukan *micro* fibril dan fibril yang menjadi satu kesatuan yaitu serat selulosa.



Gambar 2.2 Struktur kimia selulosa

(Sumber: Kunusa, 2017)

Menurut Mulyadi (2019), selulosa dapat dibedakan berdasarkan derajat polimerisasi (DP) dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida 17,5% yaitu :

- a. *Alpha cellulose* (α -selulosa) adalah selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan natrium hidroksida 17,5% atau larutan basa kuat dengan derajat polimerisasi 600-1500. Alfa selulosa dipakai sebagai penduga dan atau penentu tingkat kemurnian selulosa. Semakin tinggi kadar α -selulosa pada suatu bahan, maka semakin baik mutu bahannya.
- b. *Beta cellulose* (β -selulosa) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan natrium hidroksida 17,5% atau basa kuat dengan derajat polimerisasi 15-90, dapat mengendap bila dinetralkan.
- c. *Gamma cellulose* (γ -Selulosa) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan natrium hidroksida 17,5% atau basa kuat dan tidak mengendap jika dinetralkan memiliki derajat polimerisasi nya kurang dari 15. Kandungan utama *gamma cellulose* (γ -Selulosa) adalah hemiselulosa.

Selulosa merupakan bahan dasar penting bagi industri-industri terkait sebagai bahan baku, misalnya pada pabrik kertas, pabrik sutera tiruan dan lain sebagainya. Selulosa hampir tidak pernah ditemui dalam keadaan murni di alam, melainkan selalu berikatan dengan bahan lain seperti lignin dan hemiselulosa (Sutini dkk., 2019). Untuk mendapatkan selulosa pada ampas tebu perlu dilakukan proses ekstraksi untuk menghilangkan kandungan lignin atau senyawa-senyawa lain (Puspitasari, 2017). Pemisahan dilakukan pada kondisi optimum untuk mencegah terjadinya degradasi pada selulosa (Putera, 2012). Menurut Putri (2016) kesulitan yang dihadapi dalam proses pemisahan ini antara lain:

- a. Berat molekul bahan yang tinggi.
- b. Keasaman sifat antara komponen impuritis dengan selulosa.
- c. Kristalinitas yang tinggi.
- d. Ikatan fisika dan kimia yang kuat.

Menurut Akbar dan Supartini (2020), selama pembuatan selulosa murni, terjadi degradasi yang disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Degradasi Oleh Hidrolisa Asam

Proses degradasi oleh hidrolisa asam terjadi pada temperatur yang cukup tinggi pada media asam pada waktu yang cukup lama. Akibat dari degradasi ini adalah akan terjadi reaksi dimana selulosa terhidrolisa menjadi selulosa dengan berat molekul yang rendah (Putera, 2012). Keaktifan asam pekat untuk mendegradasi selulosa dalam hal ini berbeda-beda.

2. Degradasi Oleh Oksidator

Senyawa oksidator pada proses degradasi ini sangat mudah mendegradasi selulosa menjadi molekul yang lebih kecil. Hal ini tergantung dari oksidator dan kondisinya. Macam-macam oksidator adalah sebagai berikut :

- a. Chlorin mengoksidasi gugus karboksil dan aldehyd. Oksidasi karboksil menjadi CO_2 dan H_2O , sedangkan oksidasi aldehyd menjadi karboksil dan apabila oksidasi diteruskan akan menjadi CO_2 dan H_2O .
- b. Hipoklorit akan menghasilkan oksidasi selulosa yang mengandung persentase gugus hidroksil tinggi pada kondisi netral atau alkali.
- c. NO_2 mengoksidasi hidroksil primer dari selulosa menjadi karboksil. Oksidasi ini tidak akan memecah rantai selulosa kecuali terdapat alkali.

3. Degradasi Oleh Panas

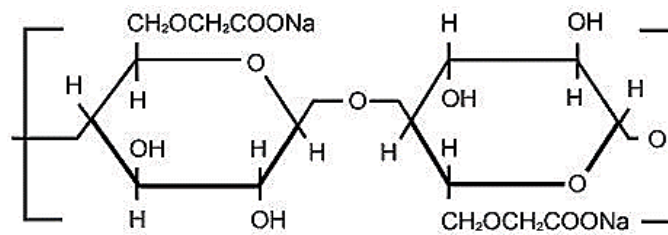
Pengaruh panas lebih besar jika dibandingkan dengan asam atau oksidator. Serat selulosa yang dikeringkan pada temperatur tinggi akan mengakibatkan hilangnya sebagian higroskopisitasnya (*swealing ability*) (Putera, 2012). Hal yang menyebabkan selulosa terdegradasi oleh panas antara lain karena :

- Bertambahnya ikatan hidrogen antara molekul selulosa yang berdekatan.
- Terbentuknya ikatan rantai kimia diantara molekul selulosa yang berdekatan.
- Pemanasan serat pada temperatur sekitar 100°C akan menghilangkan kemampuan mengembang pada selulosa sekitar 50%.

2.3 Carboxymethyl Cellulose (CMC)

Carboxymethyl Cellulose (CMC) merupakan turunan selulosa yang memiliki ciri berantai lurus, panjang dan larut dalam air.

Struktur molekul CMC adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Struktur molekul *Carboxymethyl Cellulose* (CMC)

(Sumber: Fadillah, 2018)

Struktur CMC merupakan rantai polimer yang terdiri atas unit molekul selulosa. Setiap unit anhidroglukosa memiliki tiga gugus hidroksil dan beberapa atom hidrogen dari gugus hidroksil tersebut disubstitusi oleh karboksimetil. Gugus hidroksil yang tergantikan dikenal dengan derajat pergantian (*degree of substitution*). Jumlah gugus hidroksil yang tergantikan atau nilai DS mempengaruhi viskositas dan kelarutan CMC dalam air. CMC telah banyak digunakan dan memiliki peranan penting dalam berbagai aplikasi seperti dalam bidang pangan, pembuatan kertas, dan tekstil. Khusus bidang pangan, CMC dimanfaatkan sebagai stabilizer, *thickner*, dan *emulsifier*. Fungsi CMC pada bidang formulasi adalah sebagai pengental, penstabil emulsi atau suspense dan bahan pengikat (Firmansyah, 2022). CMC merupakan turunan selulosa yang dibentuk oleh reaksi antara alkali

dan kloroasetat. CMC adalah salah satu turunan selulosa yang memiliki kelarutan air yang sangat baik. Sifat CMC antara lain mudah larut dalam air serta dapat membentuk lapisan dan bersifat stabil terhadap lemak. Berdasarkan sifat hidrofilik pada CMC tersebut, maka penambahan CMC pada plastik *biodegradable* dapat menghasilkan tekstur plastik *biodegradable* yang kuat dan halus. CMC ditambahkan juga untuk memperbaiki sifat mekanik plastik *biodegradable* yaitu memberikan kuat tarik pada sebuah polimer film sehingga film tidak mudah putus ketika ditarik (Hutauruk dkk., 2021). Tongdeesoontorn dkk. (2011) menyatakan bahwa penambahan CMC pada *edible film* singkong mampu meningkatkan kekuatan tegangan dan mengurangi perpanjangan patahan pada film.

2.4 Isopropanol

Isopropanol merupakan senyawa organik yang tersusun dari unsur-unsur karbon, hidrogen, dan oksigen. Isopropanol adalah alkohol primer merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul C_3H_8O . Isopropanol juga dikenal sebagai propil alkohol, n-propil alkohol, n-isopropanol, atau hanya propanol. Isopropanol memiliki titik didih yang lebih tinggi dibandingkan metanol dan etanol serta lebih rendah dibandingkan dengan alkohol-alkohol lainnya yang bersifat polar-protik. Gugus OH dalam isopropanol membantu melarutkan molekul polar dan ion-ion serta gugus alkilnya $-CH_3$ tidak dapat mengikat bahan nonpolar. Isopropanol merupakan senyawa alkohol dengan jenis sekunder, karena kemampuan gugus COH-nya yang dapat mengikat 2 karbon. Isopropanol sering digunakan sebagai bahan pelarut dalam industri farmasi, dan untuk resin ester selulosa. Isopropanol adalah salah satu alkohol yang paling penting dalam industri. Secara keseluruhan, kegunaan utamanya ialah sebagai pelarut, terutama untuk tinta cetak, cat, kosmetik, dan pestisida.

Perbedaan polaritas dan jenis pelarut yang digunakan dapat mempengaruhi nilai derajat substitusi CMC. Semakin kecil polaritas media pelarut, maka efisiensi reaksi alkilasi dan karboksimetilasi akan meningkat. Oleh karena itu isopropanol merupakan pelarut yang tepat karena memiliki nilai polaritas kecil, yaitu 0,546 jika dibandingkan dengan isobutanol yang memiliki nilai 0,552 dan etanol yang memiliki nilai 0,654 (Santoso dan Azwar, 2020).

2.5 NaOH

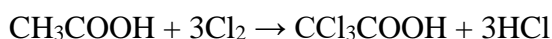
Natrium hidroksida (NaOH) merupakan larutan basa yang mudah larut dalam air dan termasuk basa kuat yang dapat terionisasi dengan sempurna. NaOH biasanya digunakan pada perlakuan alkali yang merupakan salah satu perlakuan kimia yang banyak digunakan pada serat alam apabila serat tersebut akan dipakai sebagai penguat pada matriks termoplastik, atau termoset (Habe dan Wahyuni, 2015). Modifikasi penguatan menggunakan alkali akan merusak ikatan hidrogen dan akan membuat permukaan serat menjadi lebih kasar. Sehingga perlakuan alkali pada serat ini akan menghilangkan sejumlah lignin, hemiselulosa, dan kotoran lainnya pada permukaan dinding serat, sehingga terjadi depolimerisasi pada selulosa dan membuat serat lebih pendek (Castiglina dkk., 2016). Dengan hilangnya lapisan lilin ini maka ikatan antara serat dan matriks akan menjadi lebih kuat, sehingga kekuatan tarik bahan menjadi lebih tinggi.

Pada proses penguatan alkali, serat dimasukkan kedalam larutan NaOH dengan waktu yang tertentu. Dalam komposit polimer, teknik penguatan alkali pada serat selulosa merupakan modifikasi kimia yang telah dilakukan untuk meningkatkan adhesi antara permukaan serat selulosa dan matriks polimer karena menghasilkan ikatan yang baik. Perlakuan alkali memiliki dua efek terhadap serat yaitu:

- 1) Meningkatkan kekasaran permukaan serat sehingga akan menghasilkan interlocking yang lebih baik.
- 2) Akan meningkatkan jumlah selulosa yang terlepas.

2.6 Asam Trikloroasetat

Asam trikloroasetat (nama sistematis: asam trikloroetanoat) adalah analog dari asam asetat, dengan ketiga atom hidrogen dari gugus metil digantikan oleh atom-atom klorin (Fadillah, 2018). Asam trikloroasetat dibuat melalui reaksi klorin dengan asam asetat bersama katalis yang cocok. Berikut reaksi antara asam asetat dan klorin :



Menurut Fadillah (2018) sifat fisik dan kimia dari asam trikloroasetat dapat dilihat pada Tabel 2.2:

Tabel 2.2 Sifat Fisik dan Kimia Asam Trikloroasetat

Sifat Fisik dan Kimia	Nilai
Berat Molekul	163,4 g/mol
Fase	Padatan
Penampilan	Padatan putih
Densitas	1,63 g/cm ³
Titik Lebur	57°C
Titik Didih	196°C
Keasaman (pKa)	0,77

(Sumber: Fadillah, 2018)

Senyawa ini banyak digunakan dalam bidang biokimia, untuk pengendapan makromolekul seperti protein, DNA dan RNA. Garam-garam dari asam trikloroasetat disebut trikloroasetat.

2.7 Proses Pembuatan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC)

Proses pembuatan CMC terbagi menjadi dua sistem yaitu sistem kering dan sistem *slurry*. Pada sistem kering, larutan NaOH disemprotkan ke permukaan selulosa yang diaduk dalam gelas kimia untuk proses pembentukan alkali selulosa pada proses alkalisasi. Selanjutnya, pada proses karboksimetilasi ditambahkan asam trikloroasetat atau natrium monokloroasetat. Sedangkan pada sistem *slurry*, proses alkalisasi dan karboksimetilasi menggunakan media reaksi. Pembuatan CMC dilakukan dengan 2 tahap yaitu alkalisasi dan karboksimetilasi. Proses alkalisasi yaitu selulosa akan membentuk eter non ionik dari selulosa yaitu metilselulosa. Metilasi dari selulosa alkali akan menghasilkan serangan nukleofilik dari gugus alkoksida dari selulosa pada karbon akseptor metil klorida. Metilasi terjadi pada sisi hidroksi C2 dan C6 dari unit glukosa. Sifat hidrofonik dari alkali selulosa meningkat dengan panjangnya rantai alkil. Pereaksi yang digunakan dalam proses alkalisasi adalah NaOH untuk mengaktifkan gugus-gugus -OH pada molekul selulosa. Pada proses karboksimetilasi, metil selulosa yang telah terbentuk akan direaksikan dengan menggunakan asam trikloroasetat. Gugus -OH pada struktur selulosa akan tergantung oleh asam trikloroasetat yang merupakan penanda terbentuknya CMC (Nur dkk., 2016).

2.7.1 Tahap Persiapan Bahan

Tahap awal proses penelitian yaitu persiapan dimana akan digunakan bahan baku utama berupa selulosa. Selulosa yang digunakan adalah selulosa murni yang telah bebas dari pengotor-pengotor, lignin, serta sisa-sisa tanaman berupa kulit, batang maupun daun. Selain itu, dilakukan juga persiapan bahan-bahan lain seperti isopropanol sebagai pelarut organik, NaOH sebagai agen pembentuk selulosa alkali dan asam trikloroasetat sebagai reagen karboksimetilasi selulosa alkali.

2.7.2 Tahap Ekstraksi Bahan Baku

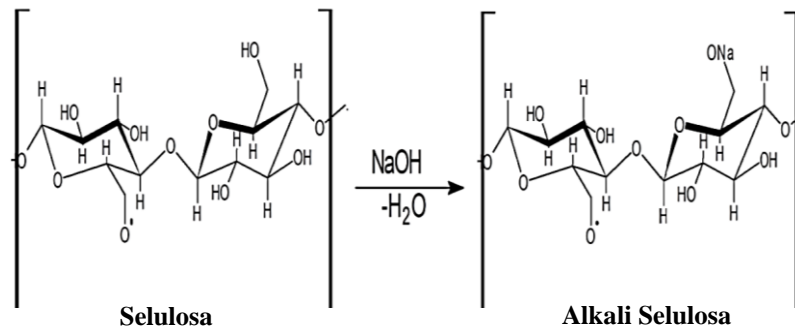
Proses ekstraksi selulosa meliputi proses delignifikasi dan proses pemutihan. Proses delignifikasi menggunakan larutan NaOH untuk merusak struktur lignin, bagian kristalin dan amorf, memisahkan lignin serta menyebabkan pengembangan struktur selulosa. Proses pemutihan bertujuan melarutkan sisa senyawa lignin yang dapat menyebabkan perubahan warna dengan mendegradasi rantai lignin sehingga lignin dapat larut pada saat pencucian dalam air atau alkali (Fadillah, 2018).

2.7.3 Tahap Pereaksian

Proses pembuatan CMC melalui 2 (dua) tahap reaksi, yaitu pertama reaksi alkalisasi dan kedua reaksi karboksimetilasi.

1. Proses Alkalisasi

Pada reaksi tahap pertama, yaitu alkalisasi merupakan reaksi antara selulosa dengan larutan NaOH (basa) menjadi alkali selulosa (selulosa bersifat larut dalam larutan basa). Proses alkalisasi pada penelitian yang dilakukan menggunakan larutan isopropanol dan NaOH (5, 15, 25, 35, dan 45%) dengan pengadukan selama 1 jam pada suhu 30°C untuk membuat α -selulosa berubah menjadi alkali selulosa dengan adanya penambahan isopropanol sebagai katalis dan sumbangan gugus Na⁺ dari NaOH (5, 15, 25, 35, dan 45%). Astuti (2017) menyatakan bahwa proses alkalisasi membuat sifat nukleofilitas atom O pada atom C-6 meningkat sehingga reaksi karboksimetilasi oleh asam trikloroasetat terhadap Na-Selulosa akan terbentuk.



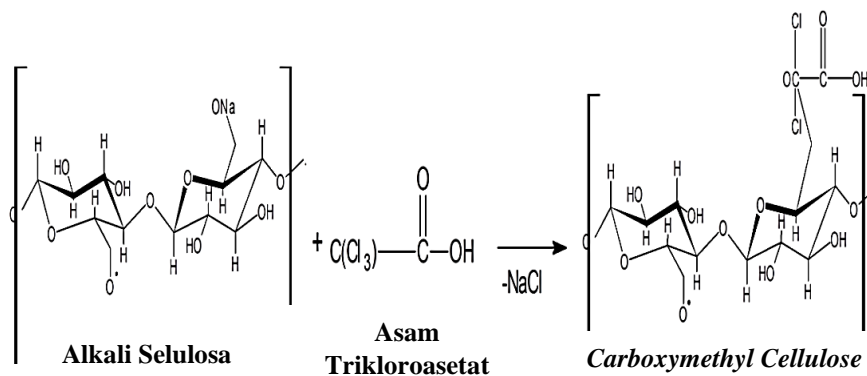
Gambar 2.4 Reaksi Alkalisasi Selulosa

(Sumber: Rusdin, 2020)

Gambar 2.4 menunjukkan adanya proses alkalisasi dengan penambahan NaOH, -OH primer pada selulosa akan bereaksi dengan NaOH sehingga membentuk natrium selulosa.

2. Proses Karboksimetilasi

Tahap kedua, yaitu karboksimetilasi merupakan tahap pelekatan gugus karboksilat dari asam trikloroasetat pada struktur selulosa menjadi CMC. Jumlah alkali yang digunakan sangat berpengaruh terhadap jumlah garam asam trikloroasetat untuk bereaksi dengan gugus hidroksil pada selulosa. Proses karboksimetilasi bertujuan untuk mensubstitusi gugus anhidroksil pada setiap unit anhidroglukosa dengan menggunakan asam trikloroasetat. Astuti (2017) menyatakan bahwa penambahan asam trikloroasetat menyebabkan reaksi esterifikasi berlangsung, dimana O- pada atom C-6 selulosa yang bersifat nukleofil akan diserang oleh gugus karbonil dari asam trikloroasetat yang bersifat elektrofil dan membentuk eter selulosa.



Gambar 2.5 Reaksi Terbentuknya *Carboxymethyl Cellulose*

(Sumber: Rusdin, 2020)

Pada tahap pereaksian, selulosa murni direaksikan dengan NaOH 5%, 15%, 25%, 35%, dan 45% selama 60 menit di dalam larutan isopropanol agar terjadi reaksi alkalisasi. Agar campuran reaksi merata, serat selulosa harus terbasahi seluruhnya oleh larutan NaOH. Isopropanol berperan sebagai media reaksi yang bersifat inert. Selulosa selanjutnya direaksikan dengan asam trikloroasetat dengan variasi 15%, 20%, dan 25%. Setelah asam trikloroasetat dimasukkan ke dalam gelas kimia yang di dalamnya terdapat NaOH dan larutan isopropanol yang telah bercampur sempurna selanjutnya dilakukan pemanasan hingga suhu 45°C dan dipertahankan selama 4 jam sambil terus dilakukan pengadukan dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Produk yang dihasilkan adalah CMC.

2.7.4 Tahap Penetralan

Setelah tahap pereaksian dilakukan tahap penetralan. CMC yang diperoleh masih memiliki pH yang terlalu basa. Maka dari itu CMC akan dinetralkan dengan asam asetat glasial dan metanol 70 % (v/v). Tujuan tahap penetralan ini adalah untuk menetralkan pH CMC menjadi 7. Hal ini dikarenakan, pada proses karboksimetilasi, CMC yang dihasilkan dalam suasana alkali. Setelah itu, CMC direndam dengan methanol selama 1 malam untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang masih tersisa.

2.7.5 Tahap Pengeringan

Tahap pengeringan dilakukan setelah produk dicuci, tahap ini bertujuan untuk mengurangi kadar air dari CMC. Produk CMC dikeringkan dengan menggunakan udara kering dengan temperatur 70°C.

2.8 Faktor Yang Mempengaruhi Mutu *Carboxymethyl Cellulose* (CMC)

1. Reagen Alkalisasi

Alkalisasi dilakukan sebelum karboksimetilasi menggunakan NaOH, yang tujuannya mengaktifkan gugus-gugus OH pada molekul selulosa dan berfungsi sebagai pengembang dan merubah struktur kristalin pada selulosa menjadi amorf. Mengembangnya selulosa ini akan memudahkan difusi reagen karboksimetilasi untuk berdifusi di dalamnya yang bertujuan untuk membentuk CMC itu sendiri, dengan memasukkan gugus $-\text{CH}_2\text{COONa}$ ke dalam struktur selulosa.

2. Reagen Karboksimetilasi

Pada proses karboksimetilasi digunakan reagen karboksimetilasi dimana pada tahap ini terjadi pelekatan gugus karboksilat pada struktur selulosa. Jumlah reagen karboksimetilasi yang digunakan akan berpengaruh terhadap substitusi dari unit anhidroglukosa pada selulosa.

3. Media Reaksi

Penggunaan media reaksi organik berfungsi untuk menyediakan aksesibilitas reagen karboksimetilasi ke pusat-pusat reaksi pada anhidroglukosa pada selulosa dalam reaksi yang terjadi selama sintesis CMC. Ketika polaritas media reaksi tersebut semakin kecil akan menyediakan aksesibilitas reagen karboksimetilasi yang semakin besar ke pusat-pusat reaksi pada anhidroglukosa selulosa. Ketika polaritas media reaksi semakin kecil, sebagian besar NaOH akan mengembangkan selulosa. Sebaliknya ketika polaritas pelarut tersebut semakin besar akan menyebabkan NaOH semakin banyak larut dalam media reaksi, yang menyebabkan NaOH tidak dapat melakukan tahap pengembangan selulosa. Hal ini disebabkan berkurangnya kereaktifan NaOH dalam larutan dengan polaritas yang kecil.

4. Waktu Reaksi

Waktu reaksi adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu bahan kimia untuk bereaksi. Semakin lama waktu reaksi maka akan menyebabkan struktur selulosa semakin mengembang dan memperbesar jarak antara gugus satu dengan gugus lainnya yang menyebabkan semakin sulit untuk melakukan pemutusan ikatan dan penggantian gugus (Nurhaeni dan Ridhay, 2017). Semakin lama waktu reaksi maka semakin tinggi nilai derajat substitusi serta reaksi berlangsung secara efektif sehingga kontak antara agen eterifikasi dengan selulosa dan molekul CMC terbentuk sempurna.

5. Temperatur Reaksi

Temperatur dapat mempengaruhi reaksi dimana pada umumnya apabila temperatur dinaikkan maka reaksi akan berlangsung lebih cepat.

2.9 Karakterisasi *Carboxymethyl Cellulose* (CMC)

Karakterisasi didasarkan pada syarat mutu *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) Teknis menurut Menurut Badan Standarisasi Nasional Indonesia (SNI) 06-3736-1995 dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Syarat Mutu Teknik CMC

Parameter	Mutu 1	Mutu 2
Derajat Substitusi	0,7-1,2	0,4-1
pH	6-8	6-8,5
Kemurnian CMC	99,5%	65,0%

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional CMC 3736-1995)

Pengujian yang dilakukan didasarkan pada standar mutu SNI untuk mengetahui kelayakan CMC dimana parameter yang diuji adalah kemurnian CMC, pH, dan derajat substitusi. Derajat substitusi adalah rata-rata gugus per anhidroglukosa unit yang disubstitusikan oleh gugus lain. Berdasarkan Tabel 2.3, syarat mutu 1 diperuntukan untuk bahan pangan, seperti pengemulsi, penstabil, dan pengental. Sedangkan untuk syarat mutu 2 diperuntukan pada bidang tekstil, keramik, cat tembok dan industri pertambangan atau petroleum (Santoso dan Azwar, 2020).

Sifat - sifat fisik CMC dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat Fisik dan Kimia CMC

Sifat Fisik	Nilai
Wujud	Butiran/bubuk tidak berwarna dan tidak berbau
Rumus Molekul	$C_6H_7O_2(OH)_2CH_2COONa$
Berat Molekul	264,204 g/mol
Kelarutan dalam air	Larut
Densitas	1,6 g/cm ³
Titik leleh	3000°C
Titik Cair	Kecoklatan pada suhu 227°C
pH	4 – 10

(Badan Standarisasi Nasional (BSN), 1995)

2.10 Plastik *Biodegradable*

Plastik *biodegradable* merupakan biopolimer yang dapat terurai secara alami dengan bantuan mikroorganisme dibandingkan plastik konvensional. Plastik *biodegradable* memiliki kegunaan yang sama dengan plastik konvensional tetapi bahan baku pembuatannya lebih ramah lingkungan, dapat didaur ulang, dan memiliki ketahanan yang baik sehingga bisa dipakai lebih dari satu kali. Plastik *biodegradable* dapat mengalami degradasi yaitu proses satu arah (*irreversible*) yang mengarah pada perubahan signifikan dari suatu struktur material, seperti kehilangan komponen, misalnya berat molekul atau berat struktur, disertai dengan pemecahan. Plastik *biodegradable* dirancang untuk memudahkan proses degradasi sebagai hasil dari aktivitas alam yang melibatkan mikroorganisme seperti bakteri, jamur dan alga serta dapat terdegradasi oleh kondisi lingkungan tertentu misalnya tanah, kompos, atau lingkungan perairan (Ningsih dkk., 2019). Faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi plastik *biodegradable* yaitu suhu, stabilitas polimer, dan tersedianya oksigen.

Menurut Haryati dkk. (2017) standar mutu plastik *biodegradable* dapat ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Standar Mutu Plastik *Biodegradable*

No	Standar Mutu Plastik <i>Biodegradable</i>	Nilai
1	Kuat Tarik	1-10 MPa
2	Persen elongasi	10-20%
3	Biodegradasi	100% dalam 60 hari

(Sumber: Haryati dkk.,2017)

Secara umum, terdapat tiga jenis plastik yaitu:

1. *Low Density Poly Ethylene*

Low Density Poly Ethylene (LDPE) merupakan plastik dengan bahan mudah diproses, fleksibel, kedap air, tidak jernih tapi tembus cahaya, dan biasanya digunakan untuk kantong kresek.

2. *High Density Poly Ethylene*

High Density Poly Ethylene (HDPE) merupakan plastik bersifat keras, tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban, mudah diwarnai, dibentuk dan diproses. Biasanya digunakan untuk botol susu cair, jus, minuman, tutup plastik.

Disarankan hanya untuk satu kali penggunaan karena jika digunakan berulang kali dikhawatirkan bahan penyusunnya lebih mudah bermigrasi kedalam pangan.

3. *Poly Propylene*

Poly Propylene (PP) merupakan plastik yang memiliki ciri-ciri transparan tetapi berwarna, keras tetapi fleksibel, kuat, tahan terhadap panas, bahan kimia dan minyak, sehingga PP merupakan pilihan bahan plastik yang baik untuk kemasan pangan, seperti tempat obat, botol susu, dan sedotan.

Sifat-sifat plastik dapat dilihat pada Tabel 2.6.

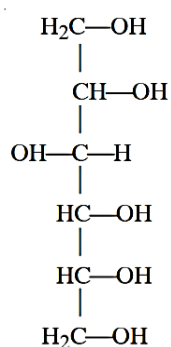
Tabel 2.6 Sifat Mekanik Plastik

No	Parameter	LDPE	HDPE	PP
1	Kuat Tarik (MPa)	4-11	20-23	13-15
2	Persen elongasi (%)	62-110	2-7	10-35
3	Modulus Elastisitas (MPa)	0,372	1,31	2,93

2.11 Sorbitol

Sorbitol efektif digunakan sebagai plasticizer pada plastik *biodegradable*, karena mampu menghasilkan film yang lebih fleksibel dan halus. Sorbitol cocok digunakan untuk bahan pembentuk film yang bersifat hidrofobik seperti pati ataupun selulosa. Sorbitol berperan sebagai plasticizer dapat meningkatkan fleksibilitas film. Di Indonesia sorbitol ($C_6H_{14}O_6$) paling banyak digunakan sebagai pengganti gula karena bahan dasarnya mudah diperoleh dan harganya murah.

Berikut merupakan struktur sorbitol dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.6 Struktur Sorbitol

(Sumber: Munir dan Ikhsanuddin, 2017)

Sorbitol sering digunakan sebagai plasticizer dalam pembuatan bioplastik berbasis pati. Plasticizer didefinisikan sebagai bahan nonvolatil, bertitik didih tinggi yang jika ditambahkan pada material lain akan merubah sifat fisik material tersebut. Penambahan plasticizer dapat meningkatkan kekuatan intermolekuler dan fleksibilitas. Jenis dan konsentrasi dari plasticizer yang digunakan akan memberikan pengaruh terhadap kelarutan dari film. Semakin banyak air yang masuk ke dalam struktur selulosa akan meningkatkan kelarutan dalam air dan asam. Kelarutan dalam air yaitu untuk memprediksi kestabilan plastik *biodegradable* terhadap pengaruh air. Penambahan sorbitol pada film meningkatkan kelarutan dalam air. Hal ini karena sorbitol memiliki sifat hidrofilik (Sidabutar, 2016). Menurut Wirawan dkk., (2012), pengaruh penambahan plasticizer sorbitol jika dibandingkan dengan plasticizer gliserol adalah semakin memberikan nilai kuat tarik yang lebih tinggi, namun memberikan nilai *elongation of break* yang lebih rendah daripada gliserol karena sorbitol lebih bersifat rapuh (*brittle*).