

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Polimer

Polimer berasal dari bahasa Yunani yaitu *poly* dan *mer*. *Poly* berarti banyak dan *mer* yang berarti satuan atau bagian. Polimer juga dapat diartikan sebagai gabungan dari monomer-monomer baik sejenis maupun monomer yang berbeda. Ciri utama polimer adalah mempunyai rantai yang panjang dan berat molekul yang besar.

Polimer adalah salah satu bahan rekayasa bukan logam (non-metalik material) yang penting. Saat ini bahan polimer telah banyak digunakan sebagai bahan substitusi untuk logam terutama karena sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi dan kimia, dan murah, khususnya untuk aplikasi-aplikasi pada temperatur rendah (Rahmat, 2008).

1. Klasifikasi Polimer

Polimer dapat diklasifikasikan menjadi beberapa golongan berdasarkan asal, bentuk sifat termal, komposisi, fase dan sumber polimer. Berdasarkan sumbernya, polimer dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

(1). Polimer Alam

Polimer alam adalah polimer yang terjadi melalui proses alami. Contoh polimer alam anorganik seperti tanah liat, silika, pasir, sol-gel, siloksan.

Sedangkan contoh polimer organik alam adalah karet alam dan selulosa yang berasal dari tumbuhan, wol dan sutera berasal dari hewan, serta asbes berasal dari mineral.

(2). Polimer Sintetik

Polimer sintetik adalah polimer yang dibuat melalui reaksi kimia seperti karet fiber, nilon, *polyester*, plastik polisterena dan polietilen.

Sedangkan berdasarkan struktur rantainya, polimer dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

(1) Polimer rantai lurus

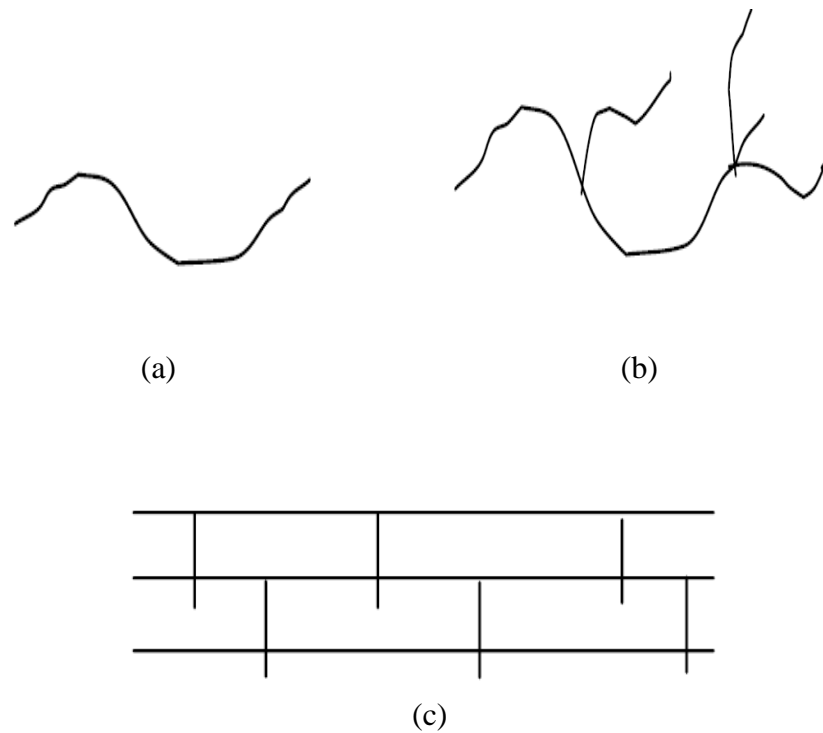
Bentuk pengulangan kesatuan yang berulang-ulang memiliki bentuk lurus (seperti rantai). Maka molekul-molekul polimer seringkali digambarkan sebagai molekul rantai seperti diperlihatkan pada Gambar 1(a) .

(2) Polimer bercabang

Gabungan dari beberapa rantai lurus atau bercabang dapat bergabung melalui ikatan silang, seperti diperlihatkan pada Gambar 1(b).

(3) Polimer tiga dimensi atau polimer jaringan

Jika ikatan silang terjadi keberbagai arah, maka terbentuk polimer tiga dimensi yang sering disebut polimer jaringan, seperti diperlihatkan pada Gambar 1 (c).



Gambar 1. Struktur polimer (a) rantai lurus, (b) bercabang, (c) tiga dimensi

Sedangkan berdasarkan komposisinya, polimer terdiri dari dua jenis yaitu:

(1) Homopolimer

Polimer yang disusun oleh satu jenis monomer dan merupakan polimer yang paling sederhana.

(2) Heteropolimer (kopolimer)

Polimer yang tersusun dari dua atau lebih monomer yang berbeda.

Berdasarkan sifat termal polimer dibagi menjadi dua jenis yaitu:

(1) Polimer termoplastik

Polimer jenis ini bersifat lunak dan meleleh (*viscous*) pada saat dipanaskan dan menjadi keras dan kaku (*rigid*) pada saat didinginkan secara berulang-

ulang. Contoh polimer termoplastik adalah: Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polivinilklorida (PVC), nilon dan Poliester.

(2) Polimer termoset

Polimer jenis ini melebur pada saat pertama kali dipanaskan dan selanjutnya mengeras secara permanen pada saat didinginkan. Polimer jenis ini bersifat lebih keras dan kaku (*rigid*) karena strukturnya molekulnya yang membentuk struktur tiga dimensi yang saling berhubungan (*network*). Contoh polimer termoset adalah: Polimetan sebagai bahan pengemas dan melanin formaldehida (formika) (Rahmat, 2008).

Selanjutnya berdasarkan fasenya, polimer terdiri dari dua jenis yaitu:

(1) Kristalin

Mempunyai susunan rantai yang teratur satu sama lain dan memiliki titik leleh (*melting point*).

(2) Amorf

Memiliki susunan yang tidak teratur seperti kristalin melainkan susunan acak dan memiliki temperatur *transision glass*.

Gabungan dari dua atau lebih polimer disebut kopolimer. Kopolimer sendiri memiliki 3 jenis, yaitu:

(1) Kopolimer acak

Kopolimer dengan kesatuan berulang yang berbeda dan tersusun secara acak dalam rantai polimer.

(2) Kopolimer berselang-seling

Jenis kopolimer yang memiliki beberapa kesatuan berulang yang berbeda dan berselang-seling posisinya dalam rantai polimer.

(3) Kopolimer cangkok/graft/tempel

Jenis kopolimer dimana polimer lain menempel pada polimer punggung (induk) lurus yang memiliki satu kesatuan yang berulang.

2. Polimerisasi

Proses pembentukan polimer tinggi (polimerisasi) dibagi menjadi dua golongan, yaitu polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi (Cowd, 1991).

1. Polimerisasi Adisi

Molekul polimer berikatan rangkap sangat peka terhadap inisiator maupun energi radiasi atau kalor yang membentuk suatu spesi aktif. Selanjutnya dengan monomer lain, pusat aktif tersebut akan membentuk polimer adisi dengan memindahkan gugus pusat aktif pada ujung rantai polimer. Pusat aktif dapat bereaksi dengan molekul medium atau molekul lain dalam sistem dengan waktu yang singkat. Seperti halnya reaksi, polimerisasi adisi melibatkan tahap-tahap : inisiasi, propagasi, dan terminasi. Pemicu yang digunakan biasanya adalah peroksida yang dapat terdekomposisi menjadi radikal bebas oleh pengaruh kalor dan radiasi. Karena kemantapan rendah, ikatan rangkap $C=C$ akan mudah diserang oleh radikal pemicu, walaupun tidak semua monomer vinil dapat

mengalami reaksi polimerisasi adisi secara radikal (Cowd, 1991). Berikut adalah tahap-tahap pada reaksi polimerisasi radikal :

(1) Inisiasi

Tahap inisiasi adalah tahap awal pembentukan radikal bebas. Radikal bebas dapat dihasilkan dari dekomposisi termal senyawa peroksida dan hiperoksida. Radikal dari senyawa tersebut beradisi pada ikatan ganda dua karbon dari monomer penyusun molekul.

(2) Propagasi

Setelah inisiasi, radikal bebas tersebut akan mengawali sederetan reaksi dimana terbentuk radikal bebas baru. Secara kolektif, terbentuknya reaksi-reaksi ini disebut tahap propagasi. Rantai karbon terus memanjang hingga terjadi reaksi penghentian rantai.

(3) Terminasi

Proses terminasi akan berlangsung sampai molekul monomer habis bereaksi. Bila konsentrasi monomer sistem menurun kemungkinan reaksi antara pusat aktif dengan monomer menjadi kecil. Sebaliknya pusat aktif akan cenderung berinteraksi satu sama lain dengan spesies lain dalam sistem membentuk polimer yang mantap. Disamping ketiga reaksi diatas, proses polimerisasi radikal selalu diikuti proses lain yang melibatkan interaksi radikal dengan molekul disekitar pelarut, aditif bahkan monomer. Interaksi ini dikenal

dengan proses alih rantai dan membentuk radikal baru yang mantap (Seymour, 1978).

2. Polimereisasi Kondensasi

Polimerisasi kondensasi merupakan proses polimerisasi yang terjadi secara bertahap melibatkan reaksi dua atau lebih molekul gugus fungsi antara molekul-molekul polimer menghasilkan polimer berukuran besar disertai pelepasan molekul air melalui reaksi kondensasi. Selain itu reaksi kondensasi membentuk polimer yang lebih *rigid* karena membentuk struktur tiga dimensi yang kompleks (Rahmat, 2008).

B. Plastik

Plastik merupakan bahan polimer kimia yang berfungsi sebagai kemasan yang selalu digunakan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari. Hampir setiap produk menggunakan plastik sebagai kemasan atau bahan dasar, karena sifatnya yang ringan dan mudah digunakan. Masalah yang timbul dari plastik yang tidak dapat terurai membutuhkan waktu yang lama untuk dapat terdegradasi menjadi H_2O dan O_2 . Plastik yang umum digunakan saat ini merupakan polimer sintetik dari bahan baku minyak yang terbatas jumlahnya dan tidak dapat diperbaharui. Beberapa jenis plastik yang tergolong dalam polimer sintetik sebagai berikut: polipropilen (PP), polietilen (PE), polivinil klorida (PVC), polistiren (PS), dan polietilen tereftalat (PET). Sehingga diperlukan usaha lain dalam mengatasi sampah plastik yaitu dengan membuat plastik yang dapat terurai secara biologis (Pranamuda, 2001).

Secara umum, kemasan *biodegradable* diartikan sebagai film kemasan yang dapat didaur ulang dan dapat dihancurkan secara alami. Bioplastik atau *biodegradable plastic* merupakan plastik yang mudah terdegradasi atau terurai, terbuat dari bahan terbarukan seperti pati, selulosa, dan ligan atau pada hewan seperti kitosan dan kitin. Penggunaan pati-patian sebagai bahan utama pembuatan plastik memiliki potensi yang besar karena di Indonesia terdapat berbagai tanaman penghasil pati. Bioplastik mempunyai keunggulan karena sifatnya yang dapat terurai secara biologis, sehingga tidak menjadi beban lingkungan (Dewi, 2009).

C. Biodegradable Plastic

Plastik merupakan bagian dari aktivitas masyarakat. Saat ini telah tercipta suatu komitmen masyarakat internasional untuk menciptakan dunia yang bebas dari sampah plastik, dikarenakan bahan ini sulit untuk diuraikan. Strategi pragmatis untuk mengatasi hal tersebut adalah mengembangkan *decomposable plastics* untuk plastik yang bersifat serba guna dan digunakan secara luas oleh masyarakat, sedangkan bahan-bahan plastik khusus (tidak dapat terurai) untuk bahan konstruksi (Sumule dan Suwahyono, 1994).

Biodegradable didefinisikan sebagai kemampuan dekomposisi polimer yang memiliki berat molekul yang tinggi untuk terurai di alam menjadi karbondioksida, metana, air, komponen anorganik maupun organik melalui rekasi enzimatik mikroorganisme dalam jangka waktu tertentu.

Biodegradable plastic adalah plastik yang dapat digunakan layaknya plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi

hasil akhir air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan (Pranamuda, 2001). Pengomposan yang sempurna sampai ketahap mineralisasi akan menghasilkan karbon dioksida dan air (Budiman, 2003).

Biodegradable plastic merupakan suatu bahan dalam kondisi dan waktu tertentu mengalami perubahan dalam struktur kimianya oleh pengaruh mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan alga. *Biodegradable plastic* dapat pula diartikan sebagai suatu material polimer yang berubah menjadi senyawa dengan berat molekul rendah dimana paling sedikit satu atau beberapa tahap degradasinya melalui metabolisme organisme secara alami (Latief, 2001).

Polimer-polimer yang mampu terdegradasi harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu mengandung salah satu dari jenis ikatan asetal, amida, atau ester, memiliki berat molekul dan kristalinitas rendah, serta memiliki hidrofilitas yang tinggi. Persyaratan ini tidak sesuai dengan spesifikasi teknis plastik yang diinginkan dan dibutuhkan pasar sehingga perlu adanya pengoptimalan pengaruh berat molekul, kristalinitas dan hidrofilitas terhadap biodegradabilitas dan sifat mekanik (Narayan, 2006).

Pada dasarnya terminologi *biodegradable plastic*, merupakan salah satu pengertian turunan dari bioplastik, dimana bioplastik didefinisikan sebagai:

1. Penggunaan sumber daya alam terbarukan dalam produksinya (*biobased*)
 - Mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil
 - Meningkatkan konsumsi sumber daya alam yang dapat diperbaharui
 - Mempromosikan sumber daya alam sekitar

2. Sifat biodegradabilitas atau kompostabilitas (*biodegradable plastic*)

- Dapat dibuang dan hancur terurai
- Segmentasi produk untuk kemasan pangan
- Mampu mengalihkan pengolahan sampah dari *landfill* dan *incinerator*

(Narayan, 2006)

Biodegradable plastic dapat dihasilkan melalui tiga cara yaitu:

- Biosintesis, seperti pada pati dan selulosa
- Bioteknologi, seperti pada *polyhydroxyl fatty acid*
- Proses sintesis kimia seperti pada pembuatan poliamida, poliester dan polivinil Alkohol

Kelompok biopolimer yang menjadi bahan dasar dalam pembuatan *biodegradable plastic*, yaitu:

1. Campuran biopolimer dengan polimer sintetis. Bahan ini memiliki nilai biodegradabilitas yang rendah dan biofragmentasi sangat terbatas.
2. Poliester. Biopolimer ini dihasilkan secara fermentasi dengan mikroba genus *Alcaligenes* dan dapat terdegradasi secara penuh oleh bakteri, jamur, dan alga.
3. Polimer pertanian. Polimer pertanian diantaranya, *cellophan*, seluloasetat, kitin, *pullulan* (Latief, 2001).

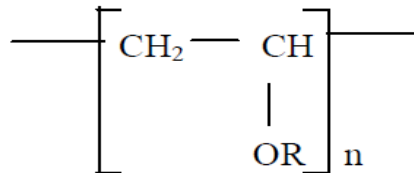
D. Poli Vinil Alkohol (PVA)

Poli vinil alkohol (PVA) merupakan polimer yang sangat menarik, karena banyak karakter dari PVA yang sesuai dengan karakter polimer yang banyak diinginkan khususnya dalam bidang farmasi dan biomedis. Kristalinitas alami dari PVA merupakan sifat yang menarik terutama dalam preparasi hidrogel. PVA memiliki struktur kimia yang sederhana dengan gugus hidroksil yang tidak beraturan. Monomernya, yaitu vinil alkohol tidak berada dalam bentuk stabil, tetapi berada dalam keadaan tautomer dengan asetaldehida (Hassan and Peppas, 2000).

PVA dihasilkan dari polimerisasi vinil asetat menjadi polivinil asetat (PVAc), kemudian diikuti dengan hidrolisis PVAc menjadi PVA. Kualitas PVA yang baik secara komersial ditentukan oleh derajat hidrolisis yang tinggi, yaitu di atas 98.5%. Derajat hidrolisis dan kandungan asetat dalam polimer sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat kimianya, seperti kelarutan dan kristalinitas PVA. Derajat hidrolisis berpengaruh terhadap kelarutan PVA dalam air, semakin tinggi derajat hidrolisisnya maka kelarutannya akan semakin rendah (Hassan and Peppas, 2000).

PVA merupakan polimer yang banyak digunakan karena memiliki sifat lentur dan dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul kitosan, selain itu PVA juga mudah diuraikan secara alami (*biodegradable*) pada kondisi yang sesuai. PVA komersial biasanya merupakan campuran dari beberapa tipe *stereoregular* yang berbeda (isotaktik, ataktik, dan sindiotaktik). PVA dengan derajat hidrolisis 98.5% atau lebih dapat dilarutkan dalam air pada suhu 70 °C (Wang *et al.*, 2004).

Polivinil alkohol (PVA) merupakan zat yang tidak berasa, tidak berbau, dapat terurai oleh alam dan biokompatibel. Selain dapat terlarut dalam air, Polivinil alkohol juga dapat larut dalam etanol. Namun, zat ini tidak dapat larut dalam pelarut organik. Struktur kimia polivinil alkohol (PVA) disajikan pada Gambar 2



Gambar 2. Struktur kimia Polivinil Alkohol

PVA dikembangkan pertama kali oleh Hermann dan Haehnel pada tahun 1924. Proses pembuatan PVA dilakukan dengan menghidrolisis polivinil asetat (PVAc). Tingkat konsumsi PVA di dunia telah mencapai beberapa ratus ribu ton per tahun dan diprediksi akan meningkat sekitar 2,5% per tahun antara tahun 2006 dan 2011. Terdapat sejumlah produsen PVA di seluruh dunia yang mayoritas berbasis di negara-negara Asia. Cina memiliki pangsa pasar terbesar dengan porsi 45% pada tahun 2006 dan nilai ini diperkirakan akan terus berkembang (Ogur, 2005).

Seiring dengan semakin tumbuhnya kesadaran akan polimer hijau yang ramah terhadap lingkungan, penggunaan polivinil alkohol menjadi semakin meningkat dan menjanjikan. Salah satu pemanfaatan PVA sebagai bahan sekali pakai adalah aplikasi PVA pada kantong kotoran hewan yang akan terurai setelah dibuang. Selain itu, PVA juga dapat diaplikasikan pada bola golf, sehingga pegolf tidak perlu mencari bolanya setelah dipukul karena bola tersebut akan terurai di alam (Ogur, 2005).

Di dalam industri pangan, PVA digunakan sebagai bahan pelapis karena sifatnya kedap terhadap uap air. PVA mampu menjaga komponen aktif dan bahan lainnya yang terkandung di dalam bahan dari kontak dengan oksigen. Secara komersial, PVA adalah plastik yang paling penting dalam pembuatan film yang dapat larut dalam air. (Ogur, 2005). Sifat fisik PVA disajikan pada Tabel 1

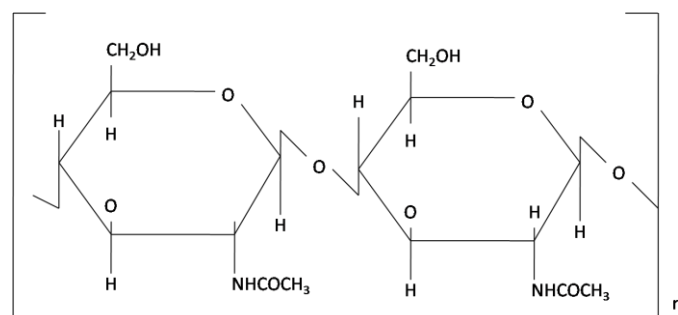
Tabel 1. Sifat Fisik PVA

Karakter	Nilai
Densitas	1,19 – 1.31 g/cm ³
Titik Leleh	180-240 °C
Titik Didih	228 °C
Suhu Penguraian	180 °C

(Ogur, 2005)

E. Kitin

Kitin adalah suatu biopolimer sejenis polisakarida dengan rantai panjang yang tidak bercabang tersusun atas unit 2-asetamida-2-deoksi-D-glikosa amino, pada ikatan β (1,4) dan mempunyai rumus molekul $C_{18}H_{12}N_2O_{10}$ (Hirano *et al.*, 1993).



Gambar 3. Struktur kitin

Kitin berbentuk kristal *amorphous* berwarna putih, tidak berasa, tidak berbau, dan tidak dapat larut dalam air, pelarut organik umumnya, asam-asam anorganik dan basa encer. Tetapi kitin dapat larut dalam asam-asam mineral pekat seperti asam klorida, asam sulfat, asam nitrat, dan asam pospat.

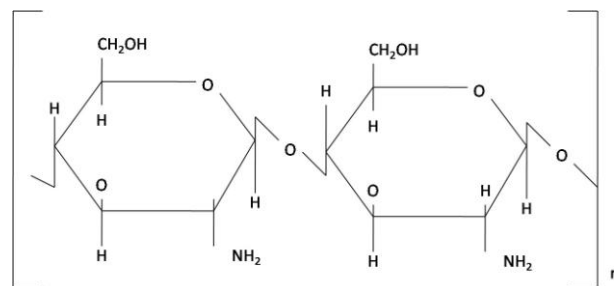
Sebagai material pendukung *crustacea* (seperti udang, kepiting, rajungan, dan lobster), kitin terdapat sebagai mukopolisakarida yang berasosiasi dengan CaCO_3 dan berikatan secara kovalen dengan protein (Muzzarelli, 1985; Mekawati *et al.*, 2000). Umumnya, kulit *crustacea* terkandung 30-40 % mineral dan 8-10 %-nya merupakan CaCO_3 (Suhardi, 1992).

Kitin dan kitosan dinegara maju telah diproduksi secara komersial mengingat manfaatnya diberbagai industri, seperti bidang farmasi, biokimia, bioteknologi, kosmetika, biomedika, industri kertas, industri pangan, industri tekstil, dan lain-lain. Pemanfaatan tersebut didasarkan atas sifat-sifatnya yang dapat digunakan sebagai pengemulsi, koagulasi, pengkelat (Muzarelli, 1984).

F. Kitosan

Kitosan merupakan polimer linear yang tersusun oleh 2000-3000 monomer N-asetil-D-glukosamin dalam ikatan β -(1-4), tidak toksik dan mempunyai berat molekul 800 Kda. Berat molekul ini tergantung dari derajat deasetilasi yang dihasilkan pada saat ekstraksi. Semakin banyak gugus asetil yang hilang dari biopolimer kitosan, maka semakin kuat interaksi antar ion dan ikatan hidrogen dari kitosan (Tang *et al.* 2007). Kitosan mempunyai berat molekul $1,2 \times 10^5$.

Sifat biologi kitosan adalah *biocompatible*, yaitu tidak mempunyai akibat samping, tidak beracun, tidak dapat dicerna, dan mudah diuraikan oleh mikroba (*biodegradable*), dapat berikatan dengan sel mamalia dan mikroba secara agresif, mampu meningkatkan pembentukan yang berperan dalam pembentukan tulang, bersifat hemostatik, fungisistik, spermisidal, antitumor, antikolestrol, dan bersifat sebagai depresan pada sistem saraf pusat (Mekawati *et al.*, 2000).



Gambar 4. Struktur Kitosan

Kitosan berbentuk serat atau seperti lembaran tipis, berwarna putih atau kuning, dan tidak berbau. Kitosan dapat larut dalam larutan asam seperti asam asetat dan menjadi polimer kationik karena protonasi gugus amino pada cincin piranosa yang terletak pada atom C-2. Kitosan juga larut dalam asam format, sitrat, piruvat, dan laktat, tetapi tidak larut dalam air, larutan basa kuat, asam sulfat, dan beberapa pelarut organik, seperti alkohol, aseton, dimetilformida, dan dimetilsulfoksida (Peter, 1995).

G. Isolasi Kitosan

Isolasi kitosan meliputi tiga tahap, yaitu: deproteinasi yang merupakan proses pemisahan protein dari cangkang rajungan, demineralisasi yang merupakan proses

pemisahan mineral, depigmentasi yang merupakan proses penghilangan warna pada kitin yang terdiri atas karotenoid dan astakantin, dan kitin merupakan prekursor kitosan yang dapat diperoleh melalui proses deasetilasi yang merupakan proses penghilangan gugus asetil dari kitin menjadi kitosan.

(1) Deproteinasi

Deproteinasi adalah tahap penghilangan protein. Dengan perlakuan ini, protein yang merupakan salah satu penyusun cangkang rajungan yang terikat secara kovalen dengan kitin akan terlepas dan membentuk Na-proteinat yang dapat larut (Suhardi, 1992).

(2) Demineralisasi

Mineral utama yang terkandung dalam cangkang rajungan adalah kalsium karbonat (CaCO_3) yang berikatan secara fisik dengan kitin. Cangkang rajungan mengandung mineral yang beratnya mencapai 40-60% berat kering. Maka, dalam proses pemurnian kitin, demineralisasi penting untuk dilakukan. Demineralisasi dapat dilakukan dengan mudah melalui perlakuan dalam asam klorida (HCl) encer pada suhu kamar (Suhardi, 1992).

(3) Depigmentasi

Depigmentasi merupakan tahap penghilangan warna yang sebenarnya telah mulai hilang pada pencucian yang dilakukan setelah proses deproteinasi dan demineralisasi. Proses ini dilakukan dengan penambahan etanol. Etanol dapat mereduksi karotenoid dan astakantin dari kitin. Dapat juga dilakukan proses pemutihan (*bleaching*) menggunakan agen pemutih berupa natrium

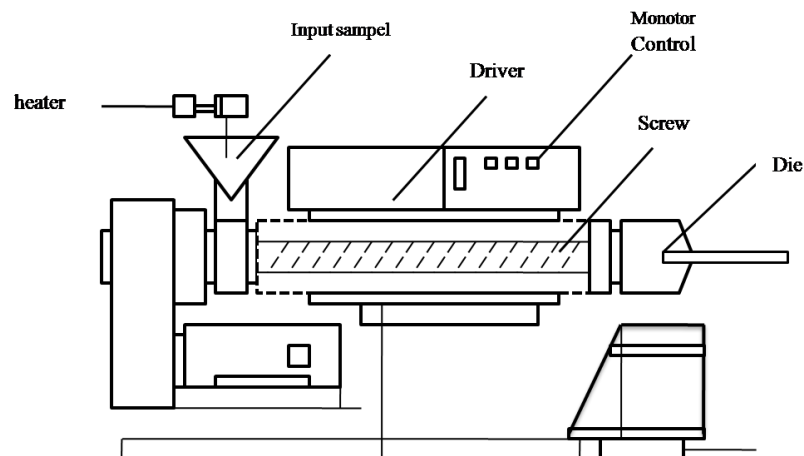
hipoklorit (NaOCl) atau peroksida (Suhardi, 1992), jika diinginkan penambahan warna putih.

(4) Deasetilasi

Deasetilasi kitin merupakan proses penghilangan gugus asetil dari kitin menjadi kitosan. Perlakuan yang diberikan adalah pemberian larutan NaOH konsentrasi tinggi pada suhu tinggi, yang dapat menghasilkan produk yang hampir seluruhnya mengalami deasetilasi. Kitosan secara komersial diproduksi secara kimiawi dengan melarutkan kitin dalam 60% larutan NaOH (Hirano, 1986).

H. Ekstruder

Ekstrusi adalah proses pelelehan material plastik akibat panas dari luar atau panas gesekan yang kemudian dialirkan ke *die* oleh *screw* membentuk produk yang diinginkan. Proses ekstrusi adalah proses kontinyu yang menghasilkan beberapa produk seperti, film plastik, tali rafia, pipa, peletan, lembaran plastik, fiber, filamen, selubung kabel dan beberapa produk lainnya (Hartomo, 1993). Ekstruder adalah mesin yang terdiri dari *hopper*, *barrel screw* dan *die*. Komponen mesin ekstruder disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Komponen Mesin Ekstruder

Pellet plastic atau disebut sebagai resin yang berada disepanjang *hopper* dimasukkan kedalam *screw* melalui *barrel chamber*. *Pellet plastic* akan bergerak disepanjang *barrel* yang berputar, dan menghasilkan gesekan, tekanan dan panas. Hasilnya *pellet plastic* akan meleleh dan selanjutnya keluar melalui *screw* yang berfungsi untuk menghomogenkan lelehan. Lelehan akan memasuki ruang yang dirancang dan mengalir merata pada *die*. Pada *die* juga terdapat filter yang berfungsi mencegah partikel atau benda asing untuk masuk.

Para *feedscrew*, *barel*, dan pengontrol suhu membentuk bagian dari ekstruder yang disebut unit *plastication*. *Plastication* sendiri didefinisikan sebagai konversi termoplastik untuk menjadi lelehan. Pada ekstruder untuk melelehkan *pellet plastic* digunakan pemanas atau *heater* yang memiliki suhu ± 230 °C (Rowendal, 2000).

Dalam hal mekanisme penggerakkan bahan dalam ekstruder, terdapat perbedaan yang nyata antara ekstruder *Single Screw Extruder* (SSE) dan *Twin Screw Extruder* (TSE). Pada *Single Screw Extruder* daya untuk menggerakkan bahan

berasal dari pengaruh dua gesekan, yang pertama adalah gesekan yang diperoleh dari ulir dan bahan. Sedangkan yang kedua adalah gesekan antara dinding *barrel* ekstruder dan bahan. *Single Screw Extruder* membutuhkan dinding *barrel* untuk menghasilkan kemampuan menggerakkan yang baik, maka dinding selubung pada *Single Screw Extruder* memainkan peran penting dalam menentukan rancangan ekstruder (Linko *et al.*, 1982).

SSE memiliki ulir yang berputar di dalam sebuah *barrel*. Jika bahan yang diolah menempel pada ulir dan tergelincir dari permukaan *barrel*, maka tidak akan ada produk yang dihasilkan dari ekstruder karena bahan ikut berputar bersama ulir tanpa terdorong ke depan. Untuk menghasilkan output produksi yang maksimal maka bahan harus dapat bergerak dengan bebas pada permukaan ulir dan menempel sebanyak mungkin pada dinding.

Pada umumnya zona operasi pada SSE (tergantung spesifikasi mesin) terbagi menjadi tiga bagian yaitu :

(1) *Solid Transport Zone*

Pada zona ini bahan digerakkan dalam bentuk bubuk atau granula. Karena *output* produk yang dihasilkan harus sama dengan *input* bahan yang dimasukkan maka perencanaan yang buruk pada zona ini akan membatasi *output* yang dihasilkan.

(2) *Melting Zone.*

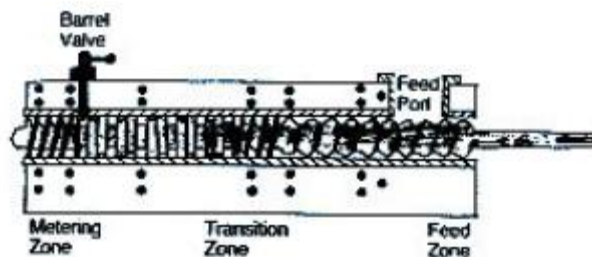
Pada zona ini bahan padat akan dipanaskan.

(3) *Pump Zone.*

Pada bagian pertama zona ini, tinggi saluran berkurang disebabkan oleh peningkatan diameter dari ulir. Pada zona ini bahan mengalami tekanan untuk mengurangi jumlah ruang-ruang kosong pada bahan. Pada bagian kedua zona ini yang disebut juga sebagai *metering zone*, bahan digerakkan dan dihomogenisasi lebih lanjut. Pada beberapa ekstruder peningkatan tekanan terjadi di zona ini.

Kadang-kadang diperlukan beberapa zona tambahan selain tiga zona di atas, tetapi hal ini dilakukan sesuai dengan kebutuhan. Zona tambahan diperlukan untuk menyediakan daya tekan tambahan untuk pengadonan, homogenisasi bahan dan daerah dengan tekanan rendah untuk mengeluarkan udara dari bahan-bahan yang dipanaskan. Pada *pump zone* dimana saluran ulir dipenuhi oleh adonan bahan terdapat tiga jenis aliran yang dapat dibedakan (Janssen, 1978): Berikut ini adalah tipe-tipe aliran pada ekstruder.

- a. *Drag flow* disebabkan oleh pengaruh bersinggungannya bahan dengan *barrel* dan permukaan ulir.
- b. *Pressure flow* yang disebabkan oleh tekanan yang meningkat pada ujung ekstruder (*die*). Arah dari aliran ini berlawanan dengan arah *drag flow*.
- c. *Leakage flow*. Aliran melalui celah antara *barrel* dan gerigi ulir (Janssen, 1978).



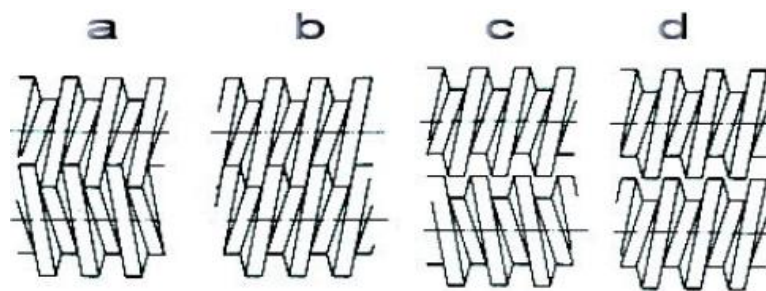
Gambar 6. Zona *Single Screw Extruder* (SSE)

(Van Zuilichem *et al.*, 1982)

Pada ekstruder ulir ganda atau *Twin Screw Extruder* (TSE), dua ulir yang paralel ditempatkan dalam *barrel* berbentuk angka 8. Jarak ulir yang diatur dengan rapat akan mengakibatkan bahan bergerak di antara ulir dan *barrel* dalam sebuah ruang yang berbentuk C. Tujuannya ialah untuk mengatasi keterbatasan pada hasil kerja SSE seperti tergelincirnya bahan dari dinding *barrel*. Sebagai hasilnya bahan akan terhindar dari aliran balik (negatif) ke arah bahan masuk tetapi digerakkan pada arah positif yaitu menuju *die* tempat bahan keluar. Pada ekstruder tipe ini gesekan pada dinding *barrel* tidak terlalu penting diperhatikan walaupun sebenarnya hal ini tergantung dari proses pengolahan apa yang dilakukan. Tetapi bentuk geometris ulir sangatlah penting untuk diperhatikan karena bentuk ulir ini dapat menyebabkan peningkatan tekanan pada ruang ekstruder yang akan menyebabkan aliran bahan dari satu ruang ke ruang yang lain baik ke arah negatif maupun positif (Linko *et al.*, 1982).

Secara umum, ulir pada ekstruder ulir ganda dapat dibagi menjadi dua kategori utama yaitu ulir *intermeshing* dan *non-intermeshing*. Pada ulir ekstruder tipe *non-intermeshing*, jarak antara poros ulir setidaknya sama dengan diameter luar ulir. Sedangkan pada ulir tipe *intermeshing*, jarak antar poros ulir lebih kecil daripada

diameter luar ulir, atau permukaan ulir dimungkinkan dalam keadaan saling bersentuhan. Pada ulir tipe ini bahan yang tergelincir dari dinding *barrel* menjadi tidak mungkin karena ulir *intermeshing* yang satu akan mencegah bahan pada ulir lain untuk berputar dengan bebas (Linko *et. al.*, 1982). Tipe tipe *screw* disajikan pada Gambar 7 dan gambar dua buah *screw* paralel pada *Twin Screw Extruder* disajikan pada Gambar 8.



Gambar 7. Tipe-Tipe Screw

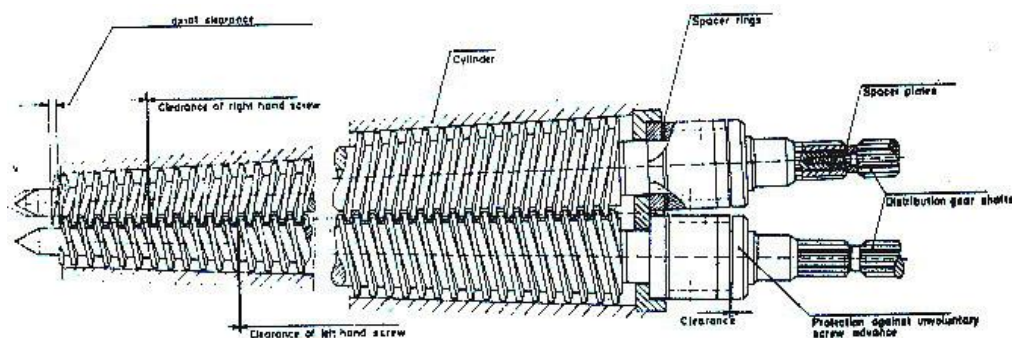
a. *counter rotating, intermeshing*

c. *counter rotating, non-intermeshing*

d. *co-rotating, non-intermeshing*

b. *co-rotating, intermeshing*

(Janssen, 1978)



Gambar 8. Dua Buah *Screw* Paralel Pada *Twin Screw Extruder* (Van Zuilichem *et al.*, 1982)

I. Karakterisasi

(1) Spektrofotometri Fourier Transform Infrared (FTIR)

Spektrofotometri Infra Merah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75 – 1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000 – 10 cm^{-1} . Radiasi elektromagnetik dikemukakan pertama kali oleh *James Clark Maxwell*, yang menyatakan bahwa cahaya secara fisis merupakan gelombang elektromagnetik, artinya mempunyai vektor listrik dan vektor magnetik yang keduanya saling tegak lurus dengan arah rambatan.

Pada dasarnya Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) adalah sama dengan Spektrofotometer IR dispersi, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar infra merah melewati contoh. Dasar pemikiran dari Spektrofotometer FTIR adalah dari persamaan gelombang yang dirumuskan oleh Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) seorang ahli matematika dari Perancis. Pada sistem optik FTIR digunakan radiasi LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik.

Detektor yang digunakan dalam Spektrofotometer FTIR adalah TGS (*Tetra Glycerine Sulphate*) atau MCT (*Mercury Cadmium Telluride*). Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS, yaitu memberikan respon yang lebih baik pada frekuensi modulasi

tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh temperatur, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra merah.

Vibrasi yang digunakan untuk identifikasi adalah vibrasi tekuk, khususnya vibrasi *rocking* (goyangan), yaitu yang berada di daerah bilangan gelombang 2000 – 400 cm^{-1} . Karena di daerah antara 4000 – 2000 cm^{-1} merupakan daerah yang khusus yang berguna untuk identifikasi gugus fungsional. Daerah ini menunjukkan absorbsi yang disebabkan oleh vibrasi regangan. Sedangkan daerah antara 2000 – 400 cm^{-1} seringkali sangat rumit, karena vibrasi regangan maupun bengkokan mengakibatkan absorpsi pada daerah tersebut. Dalam daerah 2000 – 400 cm^{-1} tiap senyawa organik mempunyai absorpsi yang unik, sehingga daerah tersebut sering juga disebut sebagai daerah sidik jari (*fingerprint region*). Meskipun pada daerah 4000 – 2000 cm^{-1} menunjukkan absorpsi yang sama, pada daerah 2000 – 400 cm^{-1} juga harus menunjukkan pola yang sama sehingga dapat disimpulkan bahwa dua senyawa adalah sama.

Pada analisis dengan spektrofotometer FTIR diharapkan terlihat pita serapan melebar dengan intensitas kuat pada daerah 3500-3000 cm^{-1} yang menunjukkan karakteristik vibrasi ulur OH, pita serapan diatas 3300 cm^{-1} yang menunjukkan karakteristik vibrasi ulur NH amina. Pita serapan lainnya yang menunjukkan adanya vibrasi NH amina yaitu pada daerah 1650-1550 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi tekuk NH_2 (amina primer), diharapkan muncul pita serapan pada daerah 1250-1000 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur CN, pita serapan pada daerah 3000-2850 cm^{-1} menunjukkan karakteristik vibrasi ulur CH, pita serapan lainnya

pada daerah $1470\text{-}1350\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi tekuk CH, dan pita serapan pada daerah $1250\text{-}970\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi tekuk C-O.

Secara keseluruhan, analisis menggunakan Spektrofotometer FTIR memiliki dua kelebihan utama dibandingkan metoda konvensional lainnya, yaitu :

1. Dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya secara simultan sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat daripada menggunakan cara sekuensial atau *scanning*.
2. Sensitifitas dari metoda Spektrofotometri FTIR lebih besar daripada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistim detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah (*slitless*) (Hsu, 1994).

(2) *Difference Scanning Calorimetry* (DSC)

DSC merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisa dan mengukur perbedaan kalor yang masuk ke dalam sampel dan referensi sebagai pembandingnya. Teknik DSC merupakan ukuran panas dan suhu peralihan dan paling berguna dari segi termodinamika kimia karena semua perubahan kimia atau fisik melibatkan entalpi dan entropi yang merupakan suatu fungsi keadaan. Teknik DSC dengan aliran panas dari sampel tertentu adalah ukuran sebagai fungsi suhu atau massa (Widiarto, 2005).

Analisa DSC digunakan untuk mempelajari transisi fase, seperti melting, suhu *transision glass* (T_g), atau dekomposisi eksotermik, serta untuk menganalisa kestabilan terhadap oksidasi dan kapasitas panas suatu bahan. Temperatur

transision glass (T_g) merupakan salah satu sifat fisik penting dari polimer yang menyebabkan polimer tersebut memiliki daya tahan terhadap panas atau suhu yang berbeda-beda. Dimana pada saat temperatur luar mendekati temperatur *transision glass*-nya maka suatu polimer mengalami perubahan dari keadaan yang keras kaku menjadi lunak seperti karet.

Di dalam alat DSC terdapat dua *heater*, dimana di atasnya diletakkan wadah sampel yang diisi dengan sampel dalam wadah kosong. Wadah tersebut biasanya terbuat dari alumunium. Komputer akan memerintahkan *heater* untuk meningkatkan suhu dengan kecepatan tertentu, biasanya $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ per mernit. Komputer juga memastikan bahwa peningkatan suhu pada kedua *heater* berjalan bersamaan (Widiarto, 2005).

(3) *Differential Thermal Analysis / Thermo Gravimetric Analysis (DTA/TGA)*

Differential Thermal Analysis (DTA) adalah suatu teknik analisis termal dimana perubahan material diukur sebagai fungsi temperatur. DTA digunakan untuk mempelajari sifat termal dan perubahan fasa akibat perubahan entalpi dari suatu material. Selain itu, kurva DTA dapat digunakan sebagai *finger print* material sehingga dapat digunakan untuk analisis kualitatif. Metode ini mempunyai kelebihan antara lain instrument dapat digunakan pada suhu tinggi, bentuk, dan volume sampel yang fleksibel, serta dapat menentukan suhu reaksi dan suhu transisi sampel (Steven, 2001).

Prinsip analisis DTA adalah pengukuran perbedaan temperatur yang terjadi antara material sampel dan pembanding sebagai hasil dari reaksi dekomposisi.

Sampel adalah material yang akan dianalisis, sedangkan material pembanding adalah substansi yang diketahui dan tidak aktif secara termal. Dengan menggunakan DTA, material akan dipanaskan pada suhu tinggi dan mengalami reaksi dekomposisi. Dekomposisi material ini diamati dalam bentuk kurva DTA sebagai fungsi temperatur yang diplot terhadap waktu. Reaksi dekomposisi dipengaruhi oleh efek spesi lain, rasio ukuran dan volume, serta komposisi materi.

Suhu dari sampel dan pembanding pada awalnya sama sampai terdapat kejadian yang mengakibatkan perubahan suhu seperti pelelehan, penguraian, atau perubahan struktur kristal sehingga suhu pada sampel berbeda dengan pembanding. Bila suhu sampel lebih tinggi daripada suhu material pembanding maka perubahan yang terjadi adalah eksotermal. Begitu pula sebaliknya, bila suhu sampel lebih rendah daripada suhu material pembanding maka perubahan yang terjadi disebut endotermal (Steven, 2001).

Umumnya, DTA digunakan pada kisaran suhu 190 - 1600 °C. Sampel yang digunakan sedikit, hanya beberapa miligram. Hal ini dilakukan untuk mengurangi masalah gradien termal akibat sampel terlalu banyak yang menyebabkan berkurangnya sensitivitas dan akurasi instrumen.

Thermogravimetric Analysis (TGA) adalah suatu teknik analitik untuk menentukan stabilitas termal suatu material dan fraksi komponen *volatile* dengan menghitung perubahan berat yang dihubungkan dengan perubahan temperatur. Seperti analisis ketepatan yang tinggi pada tiga pengukuran: berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Suatu kurva hilangnya berat dapat digunakan untuk mengetahui titik hilangnya berat (Steven, 2001).

TGA biasanya digunakan riset dan menentukan karakteristik material seperti polimer, untuk menentukan penurunan temperatur, kandungan material yang diserap, komponen anorganik dan organik di dalam material, dekomposisi bahan yang mudah meledak, dan residu bahan pelarut. TGA juga sering digunakan untuk kinetika korosi pada oksidasi temperatur tinggi.

Pengukuran TGA dilakukan diudara atau pada atmosfer yang inert, seperti Helium atau Argon, dan berat yang dihasilkan sebagai fungsi dari kenaikan temperatur. Pengukuran dapat juga dilakukan pada atmosfer oksigen (1-5% O₂ di dalam N₂ atau He) untuk melambatkan oksidasi (Steven, 2001).