

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Plastik

Sejak perkembangan bahan polimer, para ilmuwan telah melakukan banyak usaha untuk memperbaiki sifat bahan ini agar lebih stabil, lebih kuat secara mekanik dan kimia serta tahan lama. Saat ini bahan polimer (plastik) digunakan di berbagai sektor kehidupan. Hampir setiap hari kita membutuhkan plastik untuk berbagai hal, yakni sebagai pembungkus makanan, wadah minuman, untuk keperluan sekolah, kantor, automotif dan berbagai sektor lainnya. Hal ini dikarenakan plastik memiliki sifat unggul seperti ringan tetapi kuat, transparan, tahan air serta harganya relatif murah dan terjangkau oleh semua kalangan masyarakat (Xenopoulos *et al.*, 2001).

Plastik secara sederhana didefinisikan sebagai material polimer yang dapat dicetak atau diekstruksi menjadi bentuk yang diinginkan dan yang mengeras setelah didinginkan atau pelarutnya diuapkan (Oxtoby *et al.*, 2003). Plastik yang umum digunakan saat ini merupakan polimer sintetik dari bahan baku minyak yang terbatas jumlahnya dan tidak dapat diperbaharui (Ronald, 1986). Klasifikasi jenis plastik berdasarkan bahan baku dan kemampuan degradasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis-jenis plastik berdasarkan pengklasifikasian bahan baku dan kemampuan degradasi

Jenis bahan baku	<i>Biodegradable</i>	<i>Non-biodegradable</i>
<i>Renewable</i>	Bahan berbasis pati, bahan berbasis selulosa, poli asam laktat (PLA), poli hidroksi alkanoat (PHA)	Polietilena (PE) dan Polivinil klorida (PVC) dari bioetanol, poliamida
<i>Non-renewable</i>	Polikaprolakton (PCL), poli butilena suksinat (PBS), polivinil alkohol (PVA)	Polietilena (PE), polipropilen (PP), polivinil klorida (PVC)

Sumber: (Narayan, 2006).

1. Plastik Konvensional (*non-biodegradable*)

Penggunaan plastik sintetik sebagai bahan pengemas memang memiliki berbagai keunggulan seperti mempunyai sifat mekanik dan *barrier* yang baik, harganya yang murah, dan kemudahannya dalam proses pembuatan dan aplikasinya. Plastik sintetik mempunyai kestabilan sifat fisika dan sifat kimia yang terlalu kuat sehingga plastik sangat sukar terdegradasi secara alami dan telah menimbulkan masalah dalam penanganan limbahnya. Permasalahan tersebut tidak dapat terselesaikan dengan pelarangan atau pengurangan penggunaan plastik.

Ratusan juta ton plastik yang digunakan di bumi ini, maka ratusan juta ton juga sampah plastik yang dihasilkan dan menjadi polutan utama dunia. Bahan dasar plastik konvensional adalah *phthalate ester*, *diethylhexyl phthalate* (DEHP) yang merupakan produk hasil pengolahan minyak bumi, memiliki ukuran molekul yang sangat besar dan *inert*, berat molekulnya ratusan ribu hingga jutaan. Oleh karena itu, plastik konvensional sukar diuraikan oleh mikroorganisme di dalam tanah dan

dibutuhkan waktu yang sangat lama untuk mendegradasi plastik tersebut (Koswara, 2006). Sampah plastik yang berada dalam tanah yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme menyebabkan mineral-mineral dalam tanah baik organik maupun anorganik semakin berkurang. Hal ini berdampak langsung pada tumbuhan yang hidup pada area tersebut. Tumbuhan membutuhkan mikroorganisme tanah sebagai perantara dalam kelangsungan hidupnya (Ahman dan Dorgan, 2007).

2. Plastik *Biodegradable*

Bioplastik atau plastik *biodegradable* merupakan plastik yang mudah terdegradasi atau terurai, terbuat dari bahan terbarukan seperti pati, selulosa, dan ligan atau pada hewan seperti kitosan dan kitin (Dewi, 2009). Dalam kondisi dan waktu tertentu plastik *biodegradable* akan mengalami perubahan dalam struktur kimianya yang dipengaruhi mikroorganisme seperti bakteri, alga, dan jamur. Berdasarkan proses pembuatannya, plastik yang mudah terurai dibedakan menjadi 3 tipe yaitu:

1. Plastik yang dihasilkan dari suatu bahan akibat kerja dari suatu jenis mikroorganisme (prekursor)
2. Plastik yang dibuat berdasarkan hasil rekayasa kimia dari bahan polimer alami seperti serat selulosa dan bahan berpati (*amylase*), dan
3. Plastik dengan bahan baku polimer sintetik sebagai hasil dari sintesis minyak bumi seperti polimer kopolimer (Griffin, 1991).

Jenis plastik *biodegradable* antara lain: *polyhidroksi alkanoat* (PHA), poli asam laktat (PLA), dan poli-asam amino yang berasal dari sel bakteri. Poli asam laktat

(PLA) merupakan modifikasi asam laktat hasil perubahan zat tepung atau jagung oleh mikroorganisme, dan poliaspartat sintesis yang dapat terdegradasi.

Pengujian terhadap plastik *biodegradable* untuk menguji karakteristik yang dapat terdegradasi dapat dilakukan dengan cara metode penguburan tanah dan degradasi mikrobial dengan mikroorganisme (Mark, 1985). Perbandingan karakteristik plastik konvensional, plastik campuran, dan plastik *biodegradable* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan karakteristik plastik konvensional, plastik campuran, dan plastik *biodegradable*.

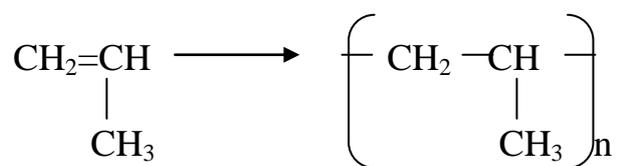
Karakteristik	Plastik Konvensional	Plastik Campuran	Plastik <i>Biodegradable</i>
Komposisi	Polimer sintetik	Polimer sintetik dan polimer alam	Polimer alam
Sifat dan bahan baku	Tidak dapat diperbaharui (<i>unrenewable</i>)	Sebagian dapat diperbaharui	Dapat diperbaharui (<i>renewable</i>)
Sifat mekanik dan fisik	Sangat baik dan bervariasi	Bervariasi	Baik dan bervariasi tapi penggunaannya terbatas
Biodegradabilitas	Tidak ada	Rendah	Tinggi
Kompabilitas	Tidak ada	Rendah	Tinggi
Hasil Pembakaran	Stabil	Agak Stabil	Kurang Stabil
Contoh	Polipropilen (PP), polietilena (PE), polistirena (PS)	Polietilena (PE) + Pati, Polietilena (PE) + selulosa	Poli asam laktat (PLA), polikaprolakton (PCL)

Sumber: (Lim, 1999).

Proses pembuatan plastik *biodegradable* dikenal dengan istilah polimerisasi. Polimerisasi adalah proses pembentukan polimer dengan menggabungkan beberapa molekul kecil dan sederhana yang disebut monomer menjadi sebuah molekul raksasa (Cowd, 1991). Plastik *biodegradable* dapat dibuat dari polimer alam atau dari campuran polimer alam dan polimer sintesis. Prinsip pembuatan plastik *biodegradable* dari polimer sintesis adalah dengan menyisipkan gugus fungsional khusus yang alami pada rantai polimer sintesis (Cole, 1990). Polimer alam mempunyai sifat fisik yang kurang baik, sedangkan polimer sintesis mempunyai sifat fisik yang unggul seperti lebih tahan air dan kekuatan tariknya cukup tinggi. Modifikasi campuran fisik (*blend*) dengan polimer lain diharapkan dapat menghasilkan material yang sifat fisiknya baik dan bersifat ramah lingkungan (Wisojodharmo, 1998).

B. Polipropilen (PP)

Monomer polipropilena ($\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$) diperoleh dari hasil samping pemurnian minyak bumi. Polipropilena ($\text{CH}_2-\text{CHCH}_3$)_n merupakan suatu jenis polimer termoplastik yang mempunyai sifat melunak dan meleleh jika dipanaskan (Billmeyer, 1971). Polipropilena merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk kedalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada temperatur tinggi. Struktur polipropilen disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur polipropilen

Polipropilena merupakan jenis bahan baku plastik yang ringan, densitas 0,90-0,92 g/cm³, memiliki kekerasan dan kerapuhan yang paling tinggi serta memiliki sifat yang kurang stabil terhadap panas dikarenakan adanya hidrogen tersier.

Penggunaan bahan pengisi dan penguat memungkinkan polipropilena memiliki mutu kimia yang baik sebagai bahan polimer dan tahan terhadap pemecahan karena tekanan (*stress-cracking*) walaupun pada temperatur yang tinggi (Gachter, 1990). Karakteristik sifat fisik dari polipropilen disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik polipropilen

Sifat Fisik	Nilai
Indeks bias	1,49
<i>Tensile Strenght</i> (psi)	4300-5500
<i>Elongation</i> (%)	200-700
<i>Impact strength</i> (ft-lb)	0,5-2,0
Densitas (g/cm ³)	0,855
Titik leleh (°C)	160

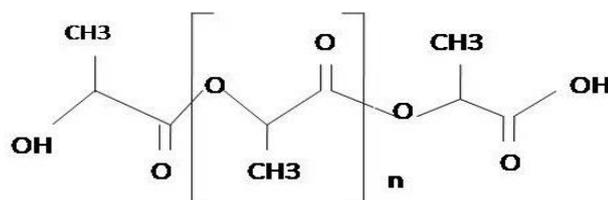
Sumber: (Matthias, 2007).

Plastik polipropilen merupakan salah satu plastik konvensional (*non-biodegradable*) yang paling sering digunakan saat ini. Hal ini dikarenakan selain harganya yang relatif murah dan proses produksi yang relatif mudah. Plastik polipropilen ini juga memiliki kesetimbangan sifat mekanik dan termal yang cukup baik. Plastik jenis ini memiliki permukaan yang tidak rata, seringkali lebih kaku daripada beberapa plastik yang lain dan memiliki nilai ekonomis yang lumayan baik. Plastik polipropilen memiliki permukaan bening tapi tidak setransparan plastik polistirena akrilik maupun plastik tertentu lainnya (Cowd, 1991).

C. Poli Asam Laktat (PLA)

Poli asam laktat merupakan keluarga poliester alifatik yang biasanya dibuat dari alfa asam hidroksi yang ditambahkan asam poliglikolat atau polimandelat. Poli asam laktat memiliki sifat tahan panas, kuat, dan merupakan polimer yang elastis. Poli asam laktat yang terdapat di pasaran dapat dibuat melalui fermentasi karbohidrat ataupun secara kimia melalui polimerisasi kondensasi dan kondensasi azeotropik. Poli asam laktat dapat terurai di tanah baik dalam kondisi aerob ataupun anaerob dalam kurun waktu empat bulan sampai lima tahun (Auras, 2002).

Poli asam laktat (PLA) adalah salah satu poliester alifatik yang dapat digunakan sebagai pembawa obat karena sifat *biokompatibel* dan *biodegradable* yang dimilikinya. PLA dapat mengalami penguraian dengan unit monomer asam laktat sebagai intermediet alam di dalam metabolisme karbohidrat. Struktur PLA disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Poli Asam Laktat.

PLA dapat dibuat dengan beberapa cara, yaitu polikondensasi asam laktat dalam larutan pada kondisi tekanan atmosfer dan tekanan tereduksi (Dutkiewicz *et al.*, 2003) dan polikondensasi asam laktat secara langsung tanpa katalis dengan temperatur tinggi (Rusmana, 2010). Selain itu menurut (Bastioli, 2002), PLA

adalah polimer hasil polimerisasi asam laktat, yang terbuat dari sumber terbarukan dari hasil fermentasi oleh bakteri atau mikroba dengan menggunakan substrat pati atau gula sederhana. PLA memiliki sifat tahan panas, kuat dan merupakan polimer yang elastis (Auras, 2002). Karakteristik sifat fisik dan mekanik dari PLA disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat fisik dan mekanik PLA

NO	Sifat PLA	Keterangan
1	Kerapatan	1,25
2	Titik Leleh (°C)	173-178
3	Kristanilitas (%)	37
4	Transisi gelas (Tg) (°C)	60-65
5	Regangan (%)	9
6	Tegangan permukaan (mN.nM)	50
7	<i>Tensile modulus</i> (GPa)	2,7-16
8	<i>Specific gravity</i> (g/cm ³)	1,23-1,30

Sumber: (Averous, 2008).

PLA dianggap sebagai bioplastik paling potensial untuk diaplikasikan, walaupun saat ini jumlahnya belum banyak diproduksi (Suyatna, 2007). Poli asam laktat mempunyai potensi yang sangat besar untuk dikembangkan sebagai pengganti plastik konvensional. Poli asam laktat bersifat termoplastik, memiliki kekuatan tarik dan modulus polimer yang tinggi, bobot molekul dapat mencapai 100.000 hingga 500.000 g/mol, dan titik leleh antara 175-200 °C (Oota, 1997 dalam Hartoto dkk, 2005).

Pada umumnya PLA dipergunakan untuk mengganti bahan yang transparan dengan densitas tinggi dan harga yang relatif mahal. Bahan plastik yang digantikan adalah dari jenis PET (1,4 g/cm³) dan PVC lentur (1,3 g/cm³). PLA dapat dikatakan kurang menguntungkan, namun mempunyai kelebihan lain yaitu

ramah lingkungan. Kekurangan PLA adalah densitas lebih tinggi ($1,25 \text{ g/cm}^3$) dibanding PP dan PS dan mempunyai polaritas lebih tinggi sehingga sulit direkatkan dengan PE dan PP yang non polar dalam sistem film multi lapis. PP mempunyai densitas $0,9 \text{ g/cm}^3$. PLA juga mempunyai ketahanan panas, *moisture* dan gas *barier* kurang bagus dibanding dengan PET. Sifat *barier* terhadap uap air, oksigen dan CO_2 lebih rendah dibanding PET, PP atau PVC. Perbaikan sifat *barier* dapat dilakukan dengan system laminasi dengan jenis film lain seperti PE, PVA, Alufoil, Nanopartikel dan lainnya (Syah, 2008).

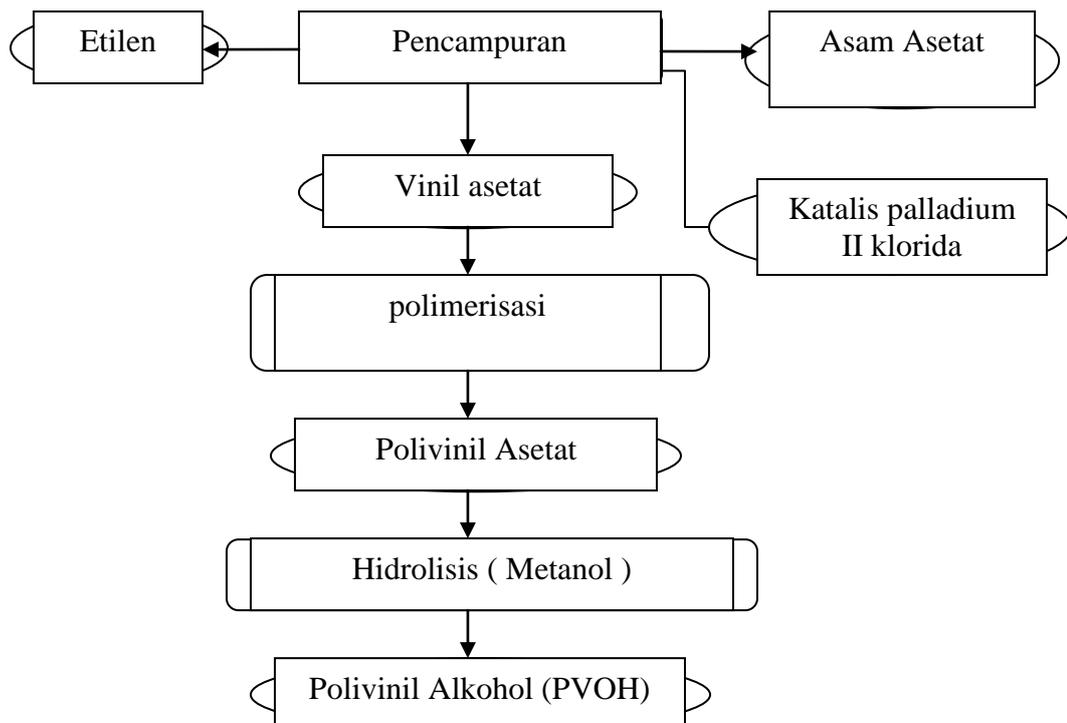
Kelebihan poli asam laktat dibandingkan dengan plastik yang terbuat dari minyak bumi antara lain:

1. *Biodegradable*, artinya poli asam laktat dapat diuraikan secara alami di lingkungan oleh mikroorganisme.
2. *Biocompatible*, dimana pada kondisi normal, jenis plastik ini dapat diterima oleh sel atau jaringan biologi.
3. Dihasilkan dari bahan yang dapat diperbaharui (termasuk sisa industri) dan bukan dari minyak bumi.
4. 100% *recyclable*, melalui hidrolisis asam laktat dapat diperoleh dan digunakan kembali untuk aplikasi yang berbeda atau bisa digabungkan untuk menghasilkan produk lain.
5. Tidak menggunakan pelarut organik/bersifat racun dalam memproduksi poli asam laktat.
6. Dapat dibakar sempurna dan menghasilkan gas CO_2 dan air (Botelho, 2004).

D. Polivinil Alkohol (PVA)

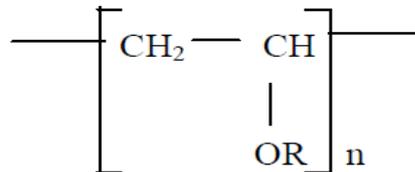
Polivinil alkohol (PVA) merupakan suatu kopolimer vinil alkohol yang tersusun dari komonomer unit vinil seperti etilen atau propilen. Polivinil alkohol dihasilkan melalui proses hidrolisis (saponifikasi) dari vinil polimer asetat. Etilen direaksikan dengan asam asetat akan menghasilkan vinil asetat. Reaksi tersebut dapat berjalan dengan penambahan katalis yaitu garam palladium seperti palladium (II) klorida. Reaksi pembentukan vinil asetat terjadi dalam fase gas. Gas yang terbentuk dialirkan ke dalam reaktor dan temperaturnya dipertahankan tetap dalam kisaran 150-200 °C dengan tekanan 5-10 atm. Selanjutnya vinil asetat dipolimerisasi menghasilkan polivinil asetat (Schonberger *et al.*, 1997).

Mekanisme pembuatan polivinil alkohol disajikan dari Gambar 3.



Gambar 3. Diagram proses pembuatan polivinil alkohol (Schonberger *et al.*, 1997).

Wujud dari polivinil alkohol berupa *powder* atau serbuk yang berwarna putih dan memiliki densitas 1,2-1,3 g/cm³ serta dapat larut dalam air pada temperatur 80 °C. Bentuk struktur dari polivinil alkohol dapat disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Polivinil alkohol (Sheftel, 2000).

Polivinil alkohol dapat digunakan sebagai bahan pembuatan kemasan film plastik. Dengan sifat yang mudah larut dalam air, polivinil tersebut dapat menghasilkan kemasan film plastik yang *biodegradable*. Polivinil alkohol mempunyai kuat sobek dan kuat tarik lebih tinggi dibandingkan plastik yang berbahan polietilen (PE) maupun polivinil klorida (PVC) (Hasan, 2000). Karakteristik film polivinil alkohol (PVA) disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik film Polivinil alkohol (PVA)

NO	Karakteristik	PVA
1	Kecerahan (%)	60-66
2	Kuat Sobek (N.mm ⁻¹)	147-834
3	Kuat Tarik (MN.m ⁻²)	44-64
4	Perpanjangan (%)	150-400
5	Densitas (g/cm ³)	1,19-1,31
6	Titik Leleh (°C)	180-240
7	Titik Dekompos (°C)	228

Sumber: (Hodgkinson, 2000).

Fungsi penambahan PVA adalah untuk meningkatkan kekuatan, fleksibilitas, dan ketahanan *foam* berbasis pati pada material sebelum proses pembakaran (Shogren *et al.*, 1998). Selain itu PVA juga berfungsi sebagai pengemulsi dalam

pembuatan mikrosfer. Gugus hidroksil dari PVA yang bersifat polar akan berikatan dengan molekul air, sedangkan rantai vinilnya akan berikatan dengan molekul diklorometana sehingga emulsi menjadi lebih stabil (Robani, 2004).

E. Gliserol

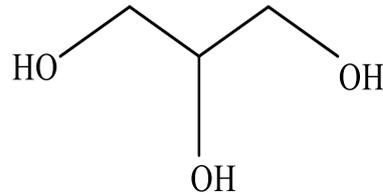
Gliserol (1,2,3-propanatriol) atau disebut juga gliserin merupakan senyawa alkohol trihidrat dengan rumus bangun $\text{CH}_2\text{OHCHOHCH}_2\text{OH}$. Gliserol berwujud cairan jernih, higroskopis, kental, dan terasa manis. Sifat fisik gliserol disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Sifat fisik gliserol

No	Sifat	Nilai
1	Bobot molekul (g/mol)	92,09382
2	Viskositas pada temperatur 20°C (cP)	1499
3	Panas spesifik pada temperatur 26°C (kal/g)	0,5795
4	Densitas (g/cm ³)	1,261
5	Titik leleh (°C)	180
6	Titik didih (°C)	290

Sumber: (Kem, 1966).

Gliserol memiliki banyak kegunaan, diantaranya sebagai *emulsifier*, agen pelembut, *plasticizer*, *stabilizer* es krim, pelembab kulit, pasta gigi, obat batuk, sebagai media pencegah reaksi pembekuan darah merah, sebagai tinta printing, sebagai bahan aditif pada industri pelapis, cat, sebagai bahan antibeku, sumber nutrisi dalam proses fermentasi, dan bahan baku untuk nitrogliserin. Rumus struktur gliserol disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur Gliserol (Solvay, 2001).

F. *Plasticizer*

Plasticizer didefinisikan sebagai bahan non volatil dengan berat molekul rendah, dan memiliki titik didih tinggi, sehingga jika ditambahkan pada material lain dapat merubah sifat material tersebut. Penambahan *plasticizer* dapat menurunkan kekuatan intermolekuler dan meningkatkan fleksibilitas film dan menurunkan sifat *barrier* film. Gliserol dan sorbitol merupakan *plasticizer* yang efektif karena memiliki kemampuan untuk mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekuler. *Plasticizer* ditambahkan pada pembuatan film untuk mengurangi kerapuhan, meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan film terutama jika disimpan pada temperatur rendah (Kemala, 1998). Penambahan *Plasticizer* ini dapat meningkatkan fleksibilitas dan ekstensibilitas film, menghindari film dari keretakan, meningkatkan permeabilitas terhadap gas, uap air dan zat terlarut, serta dapat meningkatkan elastisitas film. Beberapa jenis *plasticizer* yang dapat digunakan dalam pembuatan *edible* film antara lain: gliserol, lilin lebah, polivinil alkohol (PVA) dan sorbitol (Julianti, 2007).

Plasticizer larut dalam tiap-tiap rantai polimer sehingga akan mempermudah gerakan molekul polimer dan bekerja menurunkan temperatur transisi gelas (T_g), temperatur kristalisasi atau temperatur pelelehan dari polimer. Pada daerah di atas

transisi gelas (T_g), bahan polimer menunjukkan sifat fisik dalam keadaan lunak (*soft*) seperti karet, sebaliknya jika berada di bawah transisi gelas (T_g), polimer tersebut dalam keadaan sangat stabil seperti gelas (Paramawati, 2001).

G. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah mikroskop yang menggunakan pancaran sinar yang timbul akibat eksitasi elektron untuk melihat partikel berukuran mikron. SEM dapat menunjukkan gambar spesimen lebih jelas dan memiliki tingkat resolusi yang lebih tinggi. SEM mampu memfoto suatu permukaan dengan perbesaran dari 20 sampai 100.000 kali. Prinsip kerja SEM adalah deteksi elektron yang dihamburkan oleh suatu sampel padatan ketika ditembak oleh berkas elektron berenergi tinggi secara terus-menerus. Analisis tersebut dipercepat di dalam *electromagnetic coil* yang dihubungkan dengan *cathode ray tube* (CRT) sehingga dihasilkan suatu informasi mengenai keadaan permukaan suatu sampel senyawa. Sebelum dianalisis dengan SEM, dilakukan preparasi sampel yang meliputi penghilangan pelarut, pemipihan sampel, dan *coating*.

Berkas elektron diarahkan pada suatu permukaan spesimen yang telah dilapisi oleh suatu film konduktor. Pelapisan ini bertujuan agar polimer yang digunakan dapat menghasilkan arus listrik sehingga dapat berinteraksi dengan berkas elektron. Berkas elektron yang berinteraksi dengan spesimen dikumpulkan untuk menghasilkan sinyal. Sinyal ini digunakan untuk mengatur intensitas elektron pada suatu tabung televisi yang diarahkan serentak dengan sinar dari mikroskop. Interaksi berkas elektron dengan spesimen akan menghasilkan pola difraksi

elektron yang dapat memberikan informasi mengenai kristalografi, jenis unsur dan distribusinya, dan morfologi dari permukaan bahan (Wu, 1983).

Polimer yang akan dianalisis dengan menggunakan teknik ini harus mempunyai permukaan dengan konduktivitas tinggi. Hal ini dikarenakan polimer mempunyai konduktivitas yang rendah sehingga perlu dilapisi dengan bahan konduktor (bahan pengantar) yang tipis. Bahan yang biasa digunakan adalah perak, namun jika dianalisis dalam jangka waktu lama lebih baik menggunakan emas atau campuran emas dan *palladium*. Logam emas lebih disukai untuk tujuan ini, hal ini dikarenakan emas merupakan logam *inert* sehingga tidak turut bereaksi dengan PLA (Mulder, 1996).

H. Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FT-IR)

Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FT-IR) merupakan suatu teknik pengukuran spektrum berdasarkan pada respon bahan terhadap radiasi elektromagnetik. Fungsi dari FT-IR adalah untuk analisis kualitatif dan kuantitatif suatu senyawa organik, dan dapat pula digunakan untuk penentuan struktur molekul suatu senyawa anorganik (Steven, 2001). Pencirian dengan menggunakan FT-IR memiliki beberapa kelebihan antara lain: dapat mendeteksi sinyal yang lemah, dapat menganalisis sampel pada konsentrasi yang sangat rendah, serta dapat mempelajari daerah antara $950\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ untuk larutan senyawa (Rabek, 1980).

Prinsip kerja instrumen ini adalah mengukur energi inframerah yang diserap oleh ikatan kimia pada frekuensi atau panjang gelombang tertentu. Energi radiasi

tersebut bervariasi dalam jarak tertentu dan responnya diplot dalam suatu fungsi radiasi energi. Struktur dasar suatu senyawa dapat ditentukan berdasarkan letak absorpsi inframerahnya. FT-IR dapat membedakan gugus OH yang berasal dari alkohol dan karboksilat (Clark, 2000). Teknik ini memudahkan penelitian reaksi-reaksi polimer seperti degradasi atau ikat silang. FT-IR juga bermanfaat dalam meneliti polipaduan polimer. Salah satu penggunaan FT-IR adalah penentuan gugus molekul pada asam laktat.

Gugus fungsi suatu senyawa diidentifikasi melalui puncak serapan yang spesifik pada bilangan gelombang tertentu. Pada umumnya sampel yang dianalisis dapat berupa padatan, cairan, atau gas. FT-IR menggunakan pancaran sinar pada daerah inframerah (Hsu, 1994).

Pada analisis dengan spektrofotometer FTIR diharapkan terlihat pita serapan melebar dengan intensitas kuat pada daerah 3424 cm^{-1} yang menunjukkan karakteristik vibrasi ulur PVA, pita serapan pada daerah 2927 cm^{-1} yang menunjukkan karakteristik vibrasi ulur OH. Pita serapan pada daerah 1730 cm^{-1} yang menunjukkan karakteristik vibrasi ulur C=O untuk gugus ester (COOR). Pita serapan lainnya yang menunjukkan adanya vibrasi C=O yaitu pada daerah $1590\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$, pita serapan pada daerah $3000\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan karakteristik vibrasi ulur CH.

I. *Difference Scanning Calorimetry* (DSC)

Pengukuran sifat termal dilakukan dengan menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Sifat termal plastik komposit yang dianalisis meliputi

temperatur transisi gelas (T_g), temperatur pelelehan (T_m), dan perubahan entalpi (ΔH). Temperatur transisi gelas (T_g) merupakan temperatur dimana plastik berubah keadaan dan perilakunya dari kaku, getas, padat seperti gelas menjadi fleksibel, lunak dan elastis. Titik leleh mengindikasikan temperatur perubahan wujud padat menjadi cair (Widyasari, 2010).

Berbeda dengan logam, plastik umumnya tidak memiliki titik leleh yang spesifik. Plastik mengalami perubahan sifat atau perilaku mekanik yang jelas pada rentang temperatur tertentu yang sangat sempit. Temperatur dimana terjadi transisi tersebut dikenal sebagai temperatur transisi gelas. Tingginya temperatur transisi gelas tergantung pada struktur rantai molekul polimer yang umumnya sekitar $1/3$ hingga $2/3$ dari titik lelehnya (Saptono, 2008).

Perubahan entalpi maupun temperatur yang terjadi pada sampel dimonitor oleh sensor yang terpasang pada DSC, sehingga dapat memberikan informasi tentang temperatur transisi kaca (T_g) dan temperatur pelelehan (T_m). Informasi mengenai sifat termal suatu polimer berguna untuk menentukan aplikasi yang sesuai serta bagaimana kondisi proses terutama temperatur dari polimer tersebut (Jandali *and* Widmann, 1995).

DSC mengukur sejumlah energi (panas) yang diserap atau dilepaskan oleh suatu sampel ketika dipanaskan, didinginkan atau didiamkan pada temperatur konstan. DSC juga mengukur temperatur sampel pada kondisi tersebut. Prinsip kerja menggunakan metode ini adalah pengukuran aliran panas berdasarkan kompensasi tenaga (Rabek, 1983).

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 temperatur dengan kecepatan tertentu, biasanya $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ per mernit. komputer juga memastikan bahwa peningktan temperatur pada kedua *heater* berjalan bersamaan (Widiarto, 2007).

Analisis DSC digunakan untuk mempelajari fasa transisi, seperti *melting*, temperatur transisi gelas (T_g), atau dekomposisi eksotermik, serta untuk menganalisis kestabilan terhadap oksidasi dan kapasitas panas suatu bahan. Temperatur transisi gelas (T_g) merupakan salah satu sifat fisik penting dari polimer yang menyebabkan polimer tersebut memiliki daya tahan terhadap panas atau temperatur yang berbeda-beda. Pada saat temperatur luar mendekati temperatur transisi gelasnya maka suatu polimer mengalami perubahan dari keadaan yang keras kaku menjadi lunak seperti karet (Hidayat dkk, 2003). Bentuk alat DSC disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Alat *Difference Scanning Calorimetry* (DSC) Exstar X-DSC7000 (<http://www.siiint.com>).

J. DTA/TGA (*Differential Thermal Analysis / Thermogravimetric Analysis*)

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: dapat digunakan pada temperatur tinggi, bentuk dan volume sampel yang fleksibel, serta dapat menentukan temperatur reaksi dan temperatur 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 referensi adalah material dengan substansi yang diketahui dan tidak aktif secara termal. Dengan menggunakan DTA, material akan dipanaskan pada temperatur 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. Umumnya DTA digunakan pada kisaran temperatur 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 analisis 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 antara lain: berat, temperatur, dan perubahan temperatur. Suatu kurva hilangnya berat dapat digunakan untuk mengetahui titik hilangnya berat (Steven, 2001).

Thermogravimetri adalah teknik untuk mengukur perubahan berat dari suatu senyawa sebagai fungsi dari temperatur ataupun waktu. TGA biasanya digunakan riset dan pengujian untuk 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. Bentuk alat TG/DTA disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Alat TG/DTA seri 7000 dengan *Autosampler* (<http://www.siiint.com>).

K. *Dynamic Mechanical Spectrometer (DMS)*

Dynamic Mechanical Spectrometer (DMS) adalah teknik yang digunakan untuk mempelajari dan mengkarakterisasi bahan. Alat ini digunakan untuk mempelajari

perilaku visko-elastisitas suatu polimer. Penggunaan *stres sinusoidal* dan *strain* dalam pengukuran sampel memudahkan kita untuk menentukan modulus kompleks. Temperatur dari sampel atau frekuensi *stres* sering bervariasi menyebabkan variasi pada modulus kompleks. Keadaan tersebut digunakan untuk menemukan besar kecilnya temperatur transisi gelas (T_g) pada sampel, serta untuk mengidentifikasi transisi yang sesuai dengan gerakan molekul lainnya (www.siiint.com).

Instrumen DMS mencakup berbagai pengukuran dari statis visko-elastisitas pengukuran seperti relaksasi *stres* dan merambat ke dinamis visko-elastisitas semua pada satu instrumen. Pengukuran dapat dilakukan dengan instrumen ini untuk semua mode deformasi, seperti *bending*, *3-point bending*, *tension*, *compression*, *shear* and *film shear*.

Relaksasi Lokal dari sampel polimer umumnya tidak dapat diukur dengan menggunakan analisis termal, sekarang dapat ditentukan dengan sensitivitas tinggi menggunakan alat ini. Adanya bentuk *Synthetic Oscillation Mode* dalam alat ini memudahkan kita untuk mengukur beberapa frekuensi pada siklus dan modulus transformasi elastis.dengan sangat cepat. Pengukuran dari $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ sepenuhnya otomatis menggunakan unit mobil gas pendingin (www.siiint.com). Bentuk alat DMS disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Alat *Dynamic Mechanical Spectrometer* (DMS) Exstar DMS seri 7000 (<http://www.siiint.com>).

L. Ekstruder

Proses kerja dalam mesin ekstruder dinamakan proses ekstrusi. Proses ekstrusi adalah proses secara kontinyu pada material sampai mencapai meleleh akibat panas dari panas gesekan luar. Material tersebut kemudian dialirkan ke *die* oleh *screw* dan dibuat produk sesuai bentuk yang diinginkan. Proses ini dapat menghasilkan beberapa produk seperti: film plastik, tali rafia, pipa, peletan, lembaran plastik, fiber, filamen, selubung kabel dan beberapa produk dapat juga dibentuk. Mesin atau alat yang digunakan untuk proses ini dinamakan ekstruder. Ekstruder mampu melakukan proses pencampuran dengan baik yang bertujuan agar bahan homogen dan terdispersi dengan baik (Frame, 1994).

Dalam ekstruder *pellet* plastik atau serpihan (resin) yang berasal dari sepanjang *hopper* dimasukkan kedalam *screw* melalui *barrel*. Adapun bagian dari mesin ekstruder antara lain terdiri dari: *Hopper/feeder*, *Barrel/screw* dan *die*.

1. *Hopper/feeder*

Semua ekstruder pasti mempunyai masukan untuk bahan biji/*pellet* plastik yang melalui lubang yang nantinya mengalir dalam dinding ekstruder tersebut. *Hopper* biasanya terbuat dari lembaran baja atau *stainless steel* yang berbentuk untuk menampung sejumlah bahan *pellet* plastik untuk persediaan beberapa jam pemrosesan. *Hopper* ada yang menggunakan pemanasan awal untuk proses *pellet* sebelum *pellet* memasuki ekstruder.

2. *Barrel/screw*

Screw adalah jantungnya ekstruder, *screw* mengalirkan polimer yang telah meleleh ke kepala *die* setelah mengalami proses pencampuran dan homogenisasi pada lelehan polimer tersebut. Berdasarkan konstruksi alat dibagi menjadi dua jenis antara lain: (a) jenis ekstruder ulir tunggal (*single screw extruder/SSE*) dan (b) ekstruder ulir ganda (*twin screw extruder/TSE*).

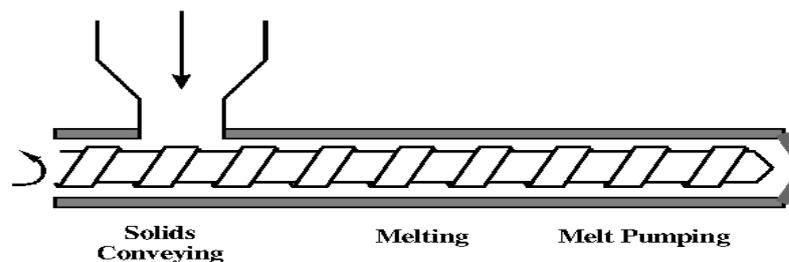
(a). Ekstruder ulir tunggal (*Single screw extruder/SSE*)

Bagian ekstruder ulir tunggal (*Single screw extruder/SSE*) antara lain:

1. *Feed section*, suatu bagian dimana sampel yang akan diekstrusi dimasukkan ke dalam ekstruder melalui suatu lubang masukan (*inlet*).
2. *Compression section* atau *transition section*, dimana terdapat ulir (*screw*) terletak dalam dinding selubung (*barrel*) mesin ekstruder dan pada umumnya memiliki ukuran yang semakin mengecil ke arah bahan keluar (tergantung spesifikasi ekstruder). Ulir akan berputar menggerakkan sampel yang masih mengandung air dan menggilingnya, dalam waktu

yang sama gerakan tersebut akan menyebabkan sampel menjadi panas. Pada bagian ini tekanan dihasilkan dari menurunnya luas ukuran jalur selubung ekstruder yang dilalui sampel tersebut. Biasanya panjang bagian ini menempati sekitar setengah dari panjang keseluruhan ekstruder.

3. *Metering section* yang merupakan bagian yang paling dekat dengan lubang tempat sampel keluar (*die*) dari ekstruder. Seringkali bagian ini memiliki luas jalur yang sempit dan kecil yang akan menyebabkan daya tekan mekanis pada bahan berlangsung efektif dan meningkat kemampuannya hingga batas tertentu sesuai dengan tingkat kecepatan putaran dari ulir ekstruder tersebut. Dikarenakan kemampuan penggilingan yang meningkat pada bagian ini, maka pencampuran sampel akan berlangsung dengan baik, selain itu terjadi pula peningkatan temperatur yang tajam pada sampel. Hal ini disebabkan oleh perubahan energi mekanik menjadi energi panas. Peningkatan temperatur yang tajam sesaat sebelum bahan keluar dari bagian *die* yang diikuti oleh penurunan temperatur yang cepat setelah sampel keluar dari *die* akan menyebabkan terjadinya pengembangan sampel yang diekstrusi (Baianu, 1992). Bentuk ekstruder ulir tunggal disajikan pada Gambar 9.



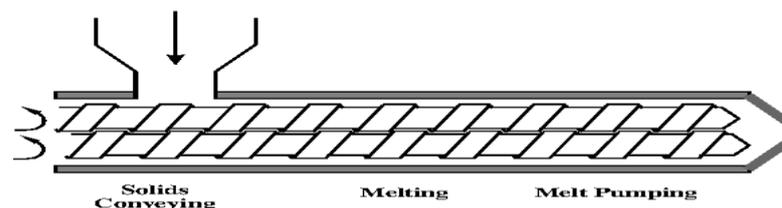
Gambar 9. Gambar ekstruder ulir tunggal

(b). Ekstruder ulir ganda (*Twin screw extruder/TSE*)

Bagian ekstruder ulir ganda (*Twin screw extruder/TSE*) antara lain:

1. *Feed Zone*, dimulai dengan memasukkan sampel ke dalam ekstruder secara terus menerus. Ketika ulir mulai berputar, ekstruder akan menggiling dan mencampur sampel secara menyeluruh. Bahan cair, biasanya minyak, air atau bahan lainnya, ditambahkan melalui sebuah lubang masukkan pada *barrel* untuk menambah kelembaban atau membasahi partikel-partikel granula sampel. Pada zona ini sampel tersebut dibentuk menjadi suatu material yang merata oleh proses penggilingan ulir ganda (*twin screw*).
2. *Cooking Zone*, pada tahap ini sampel diberi perlakuan panas yang diperoleh dari berbagai sumber, tergantung dari hasil produk yang diinginkan dan spesifikasi mesin. Panas mekanis dalam *barrel* dihasilkan dengan cara mengatur konfigurasi ulir. Kepadatan gerigi-gerigi dan jarak ulir, pengaturan arah putaran dan tekanan dapat menghasilkan panas mekanis. Panas konveksi dihantarkan langsung dari dinding *barrel* pada sampel. Penghantaran panas secara konveksi merupakan metode penghantaran panas yang sangat efektif. Panas uap bila dibutuhkan dapat diberikan pada sampel melalui suatu lubang masukkan pada *barrel*.
3. *Forming Zone*, dimana produk akan dibentuk sesuai dengan keinginan pengolah. Kita dapat memperoleh produk yang bentuknya mengembang atau padat tergantung pada tingkat kelembaban, temperatur, tekanan dan bentuk geometris dari *die*. Untuk membuat produk yang mengembang (*expanded product*), temperatur dan tekanan ditingkatkan sementara

tingkat kelembaban harus dikendalikan dengan akurat. Ketika produk keluar dari ekstruder melalui *die*, perubahan dari tekanan atmosfer akan menyebabkan kelembaban di dalam bahan berubah menjadi uap. Untuk membuat produk yang padat, digunakan sampel dengan kelembaban tinggi dan diolah pada temperatur yang rendah. Ketika ekstrudat didorong keluar melalui *die*, produk tidak akan mengembang tetapi akan memperoleh bentuk sesuai bentuk *die*. Hasilnya berupa *pellet* padat dengan bentuk yang beragam (Janssen, 1978). Bentuk ekstruder ulir ganda disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Gambar ekstruder ulir ganda

3. Die

Salah satu kunci dalam beranekaragamnya hasil produk ekstrusi terletak pada bagian *die*-nya. Dari sinilah bahan atau sampel akan didorong keluar. Fungsi *die* dalam pembuatan produksi polimer adalah untuk menghasilkan produk dengan berbagai macam bentuk, kandungan air dan konsistensi (Holmes, 2007).