

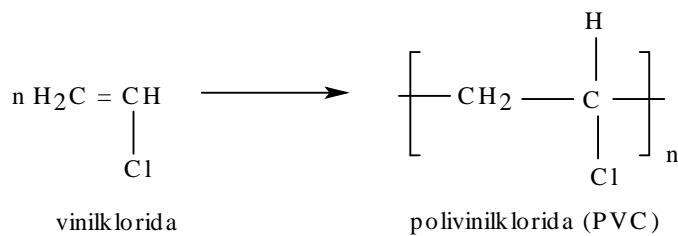
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Polimer

Polimer berasal dari bahasa Yunani yaitu *Poly*, yang berarti banyak, dan *mer*, yang berarti bagian atau satuan. Ciri utama polimer yakni mempunyai rantai yang sangat panjang dan memiliki massa molekul yang sangat besar. Polimer terbentuk dari susunan monomer-monomer melalui proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses pembentukan polimer dari monomernya. Reaksi tersebut akan menghasilkan polimer dengan susunan ulang tertentu. Proses pembentukan polimer (polimerisasi) dibagi menjadi dua golongan, yaitu polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi (Cowd, 1991).

1. Polimerisasi Adisi

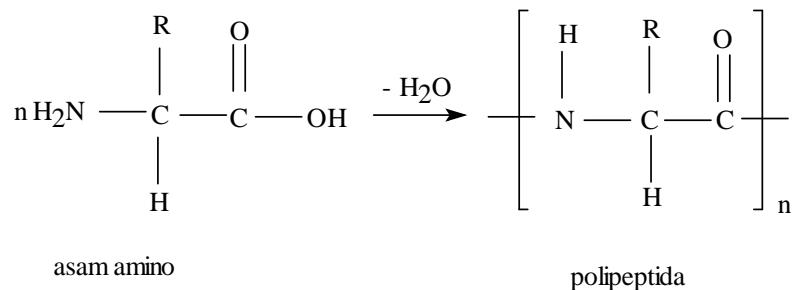
Polimerisasi adisi merupakan polimerisasi yang melibatkan reaksi rantai dan dapat berupa radikal bebas atau beberapa ion yang menghasilkan polimer yang memiliki atom yang sama seperti monomer dalam gugus ulangnya. Polimer ini melibatkan reaksi adisi dari monomer ikatan rangkap. Contoh polimer ini adalah polietilen, polipropilen dan polivinil klorida. Reaksi polimerisasi adisi vinilklorida dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi polimerisasi adisi vinilklorida

2. Polimerisasi Kondensasi

Polimer kondensasi terjadi dari reaksi antara gugus fungsi pada monomer yang sama atau monomer yang berbeda. Dalam polimerisasi kondensasi terkadang disertai dengan terbentuknya molekul kecil seperti H_2O , NH_3 atau HCl . Contoh dari polimerisasi kondensasi ini adalah pembentukan protein dari asam amino. Reaksi polimerisasi kondensasi asam amino dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi polimerisasi kondensasi asam amino

3. Klasifikasi Polimer

Berdasarkan klasifikasinya, polimer dapat dibedakan berdasarkan asal/sumber, struktur, rantai, sifat termal, komposisi dan fase. Berdasarkan sumbernya polimer dapat dibagi dalam polimer alam dan polimer sintetik.

(a). 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.

(b). Polimer Sintetik

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

Berdasarkan sifat termal polimer dibagi menjadi dua jenis yaitu:

(a) Polimer termoplastik

Polimer ini mempunyai sifat lentur (fleksibel), dapat melunak bila dipanaskan dan kaku (mengeras) bila didinginkan. Contoh: Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polivinilklorida (PVC), nilon dan Poliester.

(b) Polimer termoset

Polimer jenis ini mempunyai bobot molekul yang tinggi, tidak melunak dan sukar larut. Contoh: Polimetan sebagai bahan pengemas dan melanin formaldehida (formika).

Berdasarkan komposisinya polimer terdiri dari dua jenis yaitu:

(a) Homopolimer

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

(b) Heteropolimer (kopolimer)

Polimer yang dibuat dari dua atau lebih monomer yang berbeda.

Terdapat beberapa jenis kopolimer yaitu:

1. Kopolimer acak yaitu sejumlah kesatuan berulang yang berbeda tersusun secara acak dalam rantai polimer.
2. Kopolimer berselang-seling yaitu beberapa kesatuan berulang yang berbeda berselang-seling adanya dalam rantai polimer.
3. Kopolimer cangkok (graft) yaitu kelompok satu macam kesatuan berulang tercangkok pada polimer tulang punggung lurus yang mengandung hanya satu macam kesatuan berulang.

Berdasarkan fasenya, polimer terdiri dari dua jenis yaitu:

(a) Kristalin

Susunan antara rantai yang satu dengan yang lain adalah teratur dan mempunyai titik leleh (*melting point*).

(b) Amorf

Susunan antara rantai yang satu dengan yang lain orientasinya acak dan mempunyai temperatur transisi gelas.

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).

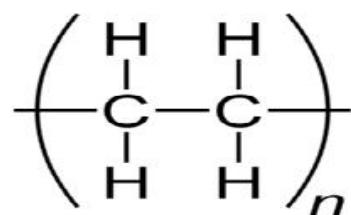
Secara umum, kemasan *biodegradable* diartikan sebagai film kemasan yang dapat didaur ulang dan dapat dihancurkan secara alami. Bioplastik atau plastik *biodegradable* merupakan plastik yang mudah terdegradasi atau terurai, terbuat dari bahan terbarukan seperti pati, selulosa, dan ligan atau pada hewan seperti kitosan dan kitin. *Biodegradable plastic* adalah plastik yang dapat digunakan seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir air dan gas karbodioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan (Pranamuda, 2001). *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).

Jenis *biodegradable plastic* yang banyak diteliti dan dikembangkan adalah plastik campuran dari bahan *non-biodegradable* dengan bahan *biodegradable*, misalnya polietilen dicampurkan dengan kitosan. Pencampuran tersebut merupakan salah

satu alternatif yang mungkin untuk diterapkan walaupun tidak terdegradasi sempurna.

C. Polietilen

Polietilen adalah salah satu dari *polyolefin* yang paling banyak digunakan secara komersial disebabkan memiliki banyak sifat-sifat yang bermanfaat antara lain daya tahan terhadap zat kimia dan benturan yang baik, mudah dibentuk dan dicetak, ringan dan harganya yang relatif murah. Akan tetapi, PE memiliki permukaan yang bersifat hidrofob karena ketahanannya terhadap bahan kimia dan energi dipermukaannya yang rendah telah membatasi pemanfaatan PE.



Gambar 3. Struktur Polietilen

Polietilen adalah bahan termoplastik yang transparan, berwarna putih mempunyai titik leleh bervariasi antara 110^0C - 137^0C . Umumnya polietilen bersifat resisten terhadap zat kimia. Pada suhu kamar, polietilena tidak larut dalam pelarut organik dan anorganik (Billmeyer, 1994). Polimer polietilen merupakan bahan yang banyak digunakan untuk pembuatan komposit, namun dalam pembuatannya tidak diperoleh hasil yang homogen karena perbedaan polaritas antara polimer dan bahan pengisi.

Untuk meningkatkan interaksi antara bahan pengisi dengan polimer telah dilakukan beberapa cara salah satunya dengan menambahkan senyawa penghubung (*coupling agent*) sehingga meningkatkan sifat antar muka dan adhesi bahan pengisi dengan matriks polimer. Polietilen dibuat dengan jalan polimerisasi gas etilen yang dapat diperoleh dengan memberi hidrogen gas petrolium pada pemecahan minyak (*nafta*), gas alam atau asetilena.

Polietilen adalah plastik yang sering digunakan untuk kepentingan komersial dan plastik ini sudah ada sejak tahun 1930. Polietilen menjadi istimewa karena sifat-sifatnya yang menarik seperti murah, *inert*, sifat listriknya yang bagus, dan pemrosesannya mudah. Umumnya pengklasifikasian PE didasarkan pada densitas dan viskositas pelelehan atau indeks pelelehan. Ini menghasilkan *high density polyethylene (HDPE)*, *low density polyethylene (LDPE)*, *linear low density polyethylene (LLDPE)* dan *cross-linked polyethylene (XLPE)* (Gachter, 1990).

Karakteristik Polietilen dapat dilihat pada Tabel 1.

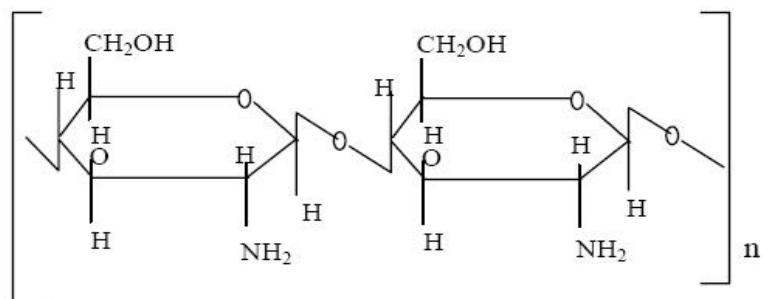
Tabel 1. Karakteristik Polietilen

Sifat Fisik dan Mekanik	LDPE Rantai Cabang	HDPE
Berat jenis (g/cm ³)	0,91-0,94	0,95-0,97
Titik leleh (°C)	105-115	135
Kekerasan	44-48	55-70
Kapasitas panas (kj kg ⁻¹ K ⁻¹)	1,916	1,916
Regangan (%)	150-600	12-700
Tegangan Tarik (N mm ⁻²)	15,2-78,6	17,9-33,1
Modulus tarik (N mm ⁻²)	55,1-172	413-1034
Tegangan impak	>16	0,8-14
Konstanta dielektrik	2,28	2,32
Resitivitas (Ohm cm)	6×10^{15}	6×10^5

D. Kitosan

Kitosan merupakan salah satu material yang mempunyai karakter dan fungsi yang signifikan secara kimia. Kitosan berasal dari kitin yang berasal dari kulit-kulit *crustaceae*. Pada *crustaceae* seperti kulit udang mengandung 20 – 30% kitin dan kulit kepiting mengandung 15 – 20% kitin (Alimuniar dan Zainuddin, 1992) dan juga kulit cumi-cumi 97,20% (Agusnar, 2006).

Kitosan adalah suatu biopolimer dari D-glukosamin yang dihasilkan dari proses deasetilasi kitin dengan menggunakan alkali kuat seperti Natrium Hidroksida (Kurita, 1998). Kitosan merupakan polimer kationik yang tidak larut dalam air, dan larutan alkali dengan pH di atas 6,5. Kitosan mudah larut dalam asam organik seperti asam formiat, asam asetat, dan asam sitrat (Mekawati dkk, 2000). Saat ini terdapat lebih dari 200 aplikasi dari kitin dan kitosan serta turunannya di industri makanan, pemrosesan makanan, bioteknologi, pertanian, farmasi, kesehatan, dan lingkungan (Balley, *et al.*, 1977)



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). Kitosan merupakan biopolimer yang bersifat hidrofilik dengan gugus aktif amin dan hidroksida yang berpotensi untuk berikatan dengan senyawa lain (Don *et al.*, 2002), polisakarida bermuatan positif dengan nilai pKa sekitar 6,3– 7. 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, fungistik, spermisidal, antitumor, antikolestrol, dan bersifat sebagai depresan pada sistem saraf pusat (Mekawati dkk, 2000). Selain itu juga, kitosan banyak digunakan di berbagai industri kimia, antara lain dipakai sebagai koagulan dalam pengolahan limbah air, bahan pelembab, pelapis benih yang akan ditanam, adsorben ion logam, komponen tambahan pakan ternak, sebagai lensa kontak, pelarut lemak, dan pengawet makanan (Majeti, 2000).

Isolasi kitosan meliputi tiga tahap, yaitu: deproteinasi yang merupakan proses pemisahan protein dari kulit udang, 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.

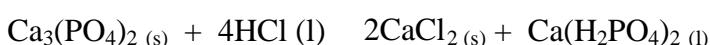
1. Deproteinasi

Deproteinasi secara kimiawi adalah proses pemisahan protein dengan perendaman sampel dalam larutan alkali (NaOH) panas. Selama perendaman, protein terekstrak dalam bentuk Na-asam lemak (Na-proteinat) akibat reaksi saponifikasi antara lemak yang terkandung dalam kulit udang dengan larutan NaOH panas, dimana ion Na^+ akan mengikat ujung rantai protein yang bermuatan negatif dan mengendap.

2. Demineralisasi

Mineral utama yang terkandung dalam kulit udang adalah kalsium karbonat (CaCO_3) yang berikatan secara fisik dengan kitin. Demineralisasi dapat dilakukan dengan mudah melalui perlakuan dalam asam klorida (HCl) encer pada suhu kamar (Suhardi, 1992). Pada saat penambahan asam, timbul gelembung gas CO_2 . Hal ini dikarenakan ion CO_3^{2-} yang terbentuk, bersifat tidak stabil sehingga akan bereaksi kembali dengan asam yang akhirnya membentuk air dan gas CO_2 , sedangkan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ akan membentuk $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ yang larut.

Reaksi antara garam anorganik dengan HCl adalah sebagai berikut:



(Haryanto, 1995).

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 asetyl 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).

E. Plasticizer

Plasticizer adalah zat aditif yang digunakan untuk melembutkan polimer plastik sehingga dapat merubah sifat kaku menjadi lebih fleksibel. Penambahan *plasticizer* atau pemlastis baik sintetis maupun alami bertujuan untuk memperbaiki sifat bioplastik yang dihasilkan, memperluas atau memodifikasi sifat

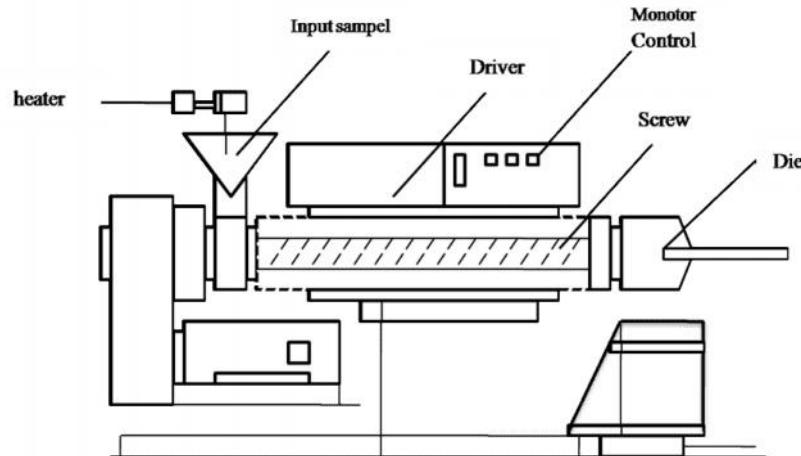
dasarnya atau dapat memunculkan sifat baru yang tidak ada dalam bahan dasarnya (Spink dan Waychoff dalam Frados, 1958).

Plasticizer dapat menurunkan gaya-gaya intermolekuler (gaya dipol, gaya dispersi dan ikatan hidrogen) sebanyak mungkin dan mengurangi ikatan antara molekul-molekul polimer satu sama lain, yaitu dengan cara menyelubungi titik pusat gaya yang menahan rantai polimer bergabung. Hal ini mengurangi titik kontak antara molekul polimer dan merubah polimer menjadi lentur/fleksibel.

Dengan berkurangnya gaya antar molekul, menyebabkan gerakan bagian rantai lebih mudah bergerak akibatnya bahan yang tadinya keras (kaku) akan menjadi lembut pada suhu kamar (Cowd, 1991). *Plasticizer* yang dapat digunakan adalah polivinil alkohol. Hal ini ditandai dengan kemampuannya sebagai *plasticizer*, pengemulsi, dan sifat adesifnya. Polimer jenis ini juga dapat larut dengan baik di dalam air (Ogur, 2005).

F. Extruder

Extrusi adalah proses pada pelelehan material plastik akibat panas dari luar/panas gesekan dan yang kemudian dialirkan ke *die* oleh *screw* yang kemudian dibuat produk sesuai bentuk 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 dapat juga dibentuk (Hartomo, 1993). *Extruder* adalah mesin yang terdiri dari *hopper*, *barrel* *screw* dan *die*. Gambar *extruder* ditunjukan pada Gambar 5.



Gambar 5. Komponen *Extruder* (Rowendal, 2000).

Dalam extruder *Pellet plastic* atau serpihan (resin) yang berasal dari sepanjang *hopper* dimasukkan kedalam *screw* melalui *barrel chamber*. Resin bergerak sepanjang barrel yang berputar, hal ini memberikan gesekan, tekanan dan daerah panas. Hasilnya resin akan meleleh dan selanjutnya akan keluar melalui *screw* yang berfungsi untuk mencampurkan lelehan yang menjadi homogen. Lelehan akan memasuki ruang yang dirancang untuk memastikan aliran merata yang mengalir pada *die*. Pada *die* juga terdapat filter yang berfungsi mencegah partikel atau benda asing melalui *die*. Pada ekstruder untuk melelehkan serpihan plastik digunakan pemanas atau *heater* yang memiliki suhu ± 230 °C (Rowendal, 2000).

Bagian-bagian dari mesin Extruder:

1. *Hopper*

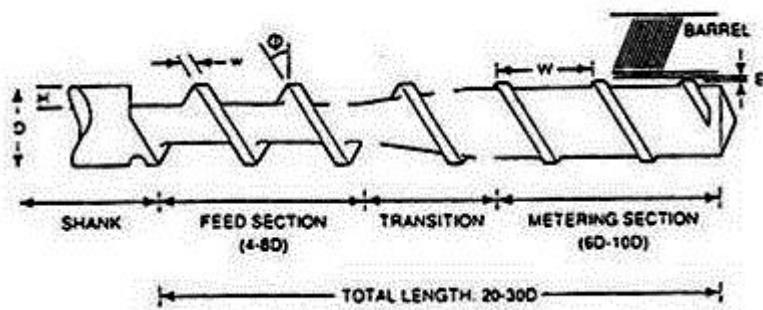
Semua *extruder* pasti mempunyai masukan untuk bahan biji/pellet plastik yang melalui lubang yang nantinya mengalir dalam dinding *extruder* tersebut, *hopper* biasanya terbuat dari lembaran baja atau stainless steel yang berbentuk untuk

menampung sejumlah bahan pelet plastik untuk stock beberapa jam pemrosesan.

Hopper ada yang disediakan pemanas awal jika diperlukan proses pellet yang memerlukan pemanasan awal sebelum pellet memasuki *extruder*.

2. Screw

Screw adalah jantungnya *extruder*, *screw* mengalirkan polimer yang telah meleleh ke kepala *die* setelah mengalami proses pencampuran dan homogenisasi pada lelehan polimer tersebut.



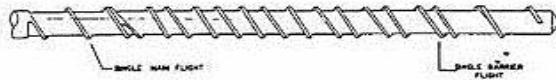
Gambar 6. Parameter *Screw* (Rowendal, 2000).

Ada beberapa pertimbangan dalam mendesign sebuah *screw* jenis material tertentu, yang paling penting adalah *depth of channel* (kedalaman kanal). Meskipun *screw* itu mempunyai fungsi sama secara umum, alangkah baiknya merancang disesuaikan dengan tipe material yang dipakai untuk mendapatkan hasil yang terbaik.

3. Type Screw Barrier (2 ulir)

Pada kasus-kasus tertentu atau permintaan design khusus, *screw* tidak dapat menyelesaikan proses leleh secara sempurna. Jadi dalam kasus tertentu *extruder*

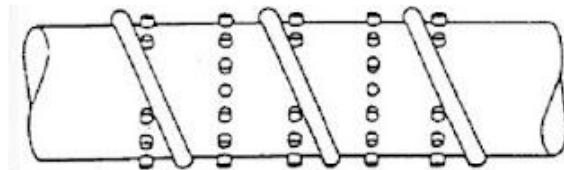
berisi material plastik yang belum leleh, ini dapat di cegah dengan membuat *screw* ular kedua (*barrier*) pada kanal. *Barier* ini dapat memotong dan memaksa hanya plastik yang leleh bisa lewat.



Gambar 7. Tipe *Srew Barrier* (Rowendal, 2000).

4. Kepala *Mixing*

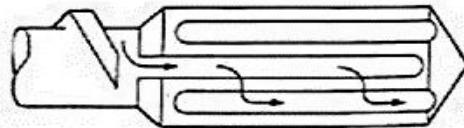
Daerah metering pada *screw* standar tidak mempunyai pencampuran yang baik. Aliran lapisan-lapisan halus plastik berjalan secara tetap pada dalam *screw*. Sehingga jika ada lapisan yang tidak sama tidak akan bercampur dengan baik, kepala *mixer* dibuat pada *screw* agar dapat mencampur antar lapisan tersebut sehingga lebih merata dan homogen. *Pin mixer (dupon mixer)* adalah sampel *mixer* yang menggunakan pin dengan gesekan rendah, alat ini mudah di pasang pada *screw* yang ada untuk meningkatkan *performance* dari *screw*.



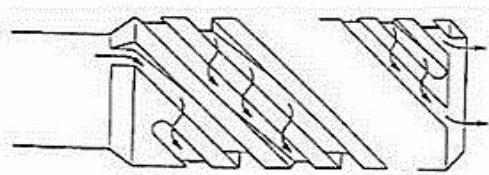
Gambar 8. *Dupon Mixer* (Rowendal, 2000).

Mixer adalah *maddock (Union Carbide) dam egan, mixer* jenis ini beroperasi pada lelehan material dengan gaya gesek tinggi sehingga dapat lebih sempurna percampurannya. *Mixer maddock* cara kerja operasi seperti *screw type barrier*,

putarannya mengakibatkan material bergerak maju dan tertekan sehingga membantu material lebih homogen.



Gambar 9. *Maddock Mixer* (Rowendal, 2000).



Gambar 10. *Egan Mixer* (Rowendal, 2000).

5. *Breaker Plate/Screen Pack* (saringan)

Breaker plate dengan saringan dimasukkan kedalam adapter, yang mana menghubungkan antara ujung *extruder* dan pangkal *die*. Peralatan ini mempunyai Beberapa fungsi sebagai berikut :

- a. Meredam putaran rotasional lelehan dan dirubah menjadi searah
- b. Memperbaiki homogenisasi dengan memecah dan menggabungkan lagi
- c. Memperbaiki *mixing* dengan meningkatnya tekanan balik
- d. Menghilangkan kotoran dan material tidak leleh
- e. Saringan dibuat beberapa lapis dan tiap lapis mempunyai perbedaan mesh, saringan paling kasar sebagai penopang diletakkan menghadap breker plate kemudian ke yang paling halus terakhir

G. 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 $0,75 - 1.000 \mu\text{m}$ atau pada bilangan gelombang $13.000 - 10 \text{ cm}^{-1}$.

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 frekwensi 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 absorbs 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 NH₂ (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 1470-1350 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi tekuk CH, dan pita serapan pada daerah 1250-970 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 sistem 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 satu fungsi keadaan. Teknik DSC dengan aliran panas dari sampel tertentu adalah ukuran sebagai fungsi suhu atau massa.

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 °C per menit.

Komputer juga memastikan bahwa peningkatan suhu pada kedua *heater* berjalan bersamaan.

Analisa DSC digunakan untuk mempelajari transisi fase, seperti melting, suhu transisi glass (Tg), atau dekomposisi eksotermik, serta untuk menganalisa kestabilan terhadap oksidasi dan kapasitas panas suatu bahan. Temperatur transisi gelas (Tg) 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 transisi glassnya maka suatu polimer mengalami perubahan dari keadaan yang keras kaku menjadi lunak seperti karet (Wunderlich, 2005).

3. Differential Thermal Analysis / Thermogravimetric Analysis (DTA/TGA)

Differential Thermal Analysis (DTA) adalah suatu teknik analisis termal dimana perubahan material diukur sebagai fungsi temperatur. DTA digunakan untuk mempelajari sifat thermal 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 (Stevens, 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 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 peleahan, penguraian, atau perubahan struktur kristal sehingga suhu pada sampel berbeda dengan pembanding. Bila suhu sampel lebih tinggi daripada suhu pembanding maka perubahan yang terjadi adalah eksotermal. Begitu pula sebaliknya, bila suhu sampel lebih rendah daripada suhu pembanding maka perubahan yang terjadi disebut endotermal (Stevens, 2001).

Umumnya, DTA digunakan pada range 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 Analisys (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 (Stevens, 2001).

TGA biasanya digunakan riset dan pengujian untuk menentukan karakteristik material seperti polymer, 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 atmosfir yang inert, seperti Helium atau Argon, dan berat yang dihasilkan sebagai fungsi dari kenaikan temperatur. Pengukuran dapat juga dilakukan pada atmosfir oksigen (1-5% O₂ di dalam N₂ atau He) untuk melambatkan oksidasi (Stevens, 2001).