

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Material Komposit

Komposit adalah gabungan antara bahan matrik atau pengikat yang diperkuat. Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan pengikat dan bahan pendukung sebagai pengisi. Bahan utama membentuk matrik di mana bahan pengisi ditanamkan di dalamnya. Bahan pengisi dapat berbentuk serat, partikel, serpihan atau juga dapat berbentuk yang lain.^[5] Dimana dalam penelitian ini, matriks yang digunakan dapat digolongkan sebagai *Polymer Matrix Composites* (PMC), atau lebih detailnya lagi, digolongkan dalam komposit berpengisi serbuk kayu atau *Wood Polymer Composite* (WPC).

2.1.1 Komposit Bermatriks Polimer (*Polymer Matrix Composite*)

Komposit Bermatriks Polimer atau *Polymer Matrix Composite* (PMC) merupakan jenis komposit yang menggunakan material polimer sebagai matriks pengikat. Matriks dapat diartikan sebagai konstituen paling besar dalam komposit dan sebagai karakteristik dasar yang mempunyai fungsi sangat penting.^[6] Matriks merupakan suatu fasa kontinu yang berada dalam material komposit yang mengikat pengisi dengan tidak terjadi ikatan secara kimia. Matriks juga berfungsi sebagai pentransfer *stress* (tegangan) dari suatu fasa ke fasa yang lain agar *stress* tidak terpusat di satu titik sehingga beban yang dialami oleh material akan terdistribusi secara merata, dan memproteksi fasa tersebut dari lingkungannya akibat beban kejut (*shock*), dan lain sebagainya.

Untuk memperoleh sifat bahan komposit seperti yang diinginkan, langkah pertama yang perlu diperhatikan adalah mengetahui sifat dari bahan matrik. Dari pengetahuan tentang sifat-sifat bahan matrik inilah dapat dipilih material apa yang harus diisikan pada bahan matrik untuk memperbaiki karakteristik matriks.^[6] Pada

dasarnya, matrik meneruskan tegangan yang diberikan kepada partikel pengisi sehingga ketahanan bahan komposit semakin bertambah.

Tujuan dibentuknya komposit berbasis matriks dari polymer umumnya adalah untuk memperoleh produk dengan ketangguhan yang tinggi dan relatif lebih ringan. Tujuan umum lainnya adalah alasan manufaktur, yaitu biaya pembuatan yang relatif lebih rendah, dapat diproduksi secara massal, mudah dibentuk dan memiliki kemampuan *machinability* yang baik.^[7,8]

2.1.2 Komposit Polimer-Kayu (*Wood Polymer Composite*).

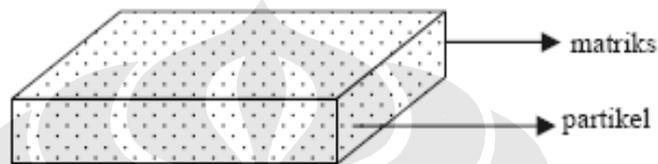
Material penyusun komposit dalam penelitian ini, baik matrik maupun bahan pengisinya, merupakan polimer. Matrik kompositnya menggunakan polimer termoplastik yang bersifat semikristalin, yaitu polipropilena. Dan bahan pengisinya adalah serbuk kayu pohon karet yang merupakan jenis polimer alami. Atau lebih detailnya lagi, komposit dalam penelitian ini dapat digolongkan dalam komposit berpengisi serbuk kayu atau *Wood Polymer Composite* (WPC), sebab pengisi yang digunakan adalah serbuk kayu karet.

Karakteristik utama suatu material komposit ditentukan oleh matrik, namun bahan pengisi (*filler*) juga memiliki peranan yang sangat penting untuk memperbaiki karakteristik material komposit. Bahan pengisi biasanya digunakan dengan tujuan menekan biaya produksi, sehingga pemilihan komposit umumnya menggunakan bahan pengisi yang murah dan mudah diperoleh. Selain itu, bahan pengisi juga berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*) material matrik sehingga pada akhirnya diperoleh sifat baru berupa gabungan sifat unggul dari matrik dan pengisi, atau bahkan lebih unggul dari keduanya.^[6,7,8]

Beberapa jenis plastik sebenarnya sudah cukup potensial dan memiliki nilai jual yang baik, tapi jika material plastik tersebut dikombinasikan dengan pengisi, maka akan dihasilkan produk yang sangat potensial dan lebih bermanfaat yang memiliki sifat lebih baik dengan harga yang relatif lebih murah.

Pada penelitaian ini, komposit menggunakan pengisi yang berbentuk partikel sehingga dapat digolongkan sebagai komposit partikulat. Karakteristik dari pengisi menentukan kapabilitasnya terhadap kontribusi sifat-sifatnya pada komposit. Contohnya kekerasan partikel dalam matrik yang rapuh mengurangi

kekuatan dan konsentrasi tegangan pada bahan matrik. Pengisi partikel, penggunaannya secara luas untuk memperbaiki sifat bahan matrik misalnya untuk memodifikasi termal, memperbaiki keadaannya pada temperatur tinggi, mengurangi gesekan, menambah pemakaian dan daya hantar abrasi, memperbaiki kemampuan mekanik, menambah sifat kekerasan permukaan, dan mengurangi pengerutan. Namun, bisa saja sifat baru yang ditimbulkan oleh komposit, lebih besar dari pada kedua sifat pendukungnya, matriks dan pengisi. Atau bahkan, penambahan ini justru menurunkan karakteristik WPC.^[6]



Gambar 2. 1 Komposit partikel^[6]

2.1.3 Pengaruh Jumlah Fraksi Volume Pengisi terhadap Sifat Komposit

Untuk menentukan karakteristik dari komposit yang ingin dibuat, faktor utama yang harus dipertimbangkan adalah perbandingan matrik dan pengisi. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume pengisi (V_f) untuk menghitung nilai kekuatan komposit secara total. Umumnya penambahan pengisi bertujuan untuk meningkatkan kekuatan sehingga semakin banyak fraksi volum pengisi yang digunakan maka kekuatan komposit akan semakin tinggi. Dalam hal ini, dianggap performa komposit optimum sehingga arah serat diasumsikan terorientasi sama secara longitudinal.

Jika komposit diberikan beban (*stress*) sampai mengalami regangan yang sama besar antara matrik dengan pengisi (*isostrain*), maka besar pembebanan yang dibutuhkan adalah sebesar pembebanan yang harus dilakukan pada matriks terhadap fraksi volumenya dan pembebanan yang harus dilakukan pada pengisi terhadap fraksi volume pengisi tersebut.^[9] Hal ini dapat dirumuskan menjadi:

$$\sigma_c = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk mempermudah analisis kekuatan suatu komposit, ikatan serat dan matrik diasumsikan terjadi secara sempurna. Pergeseran antara serat dan matriks dianggap tidak ada dan deformasi serat sama dengan deformasi matrik. Hal ini

dapat dirumuskan dengan $\epsilon_c = \epsilon_m = \epsilon_f$. Sehingga pembebanan terhadap komposit secara total dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\frac{\sigma_c}{\epsilon_c} = \frac{\sigma_m}{\epsilon_m} V_m + \frac{\sigma_f}{\epsilon_f} V_f \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana, nilai $E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$ sehingga persamaannya menjadi:

$$E_{cl} = E_m V_m + E_f V_f \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Pada komposit dengan jenis pengisi yang bersifat diskontinyu dan terorientasi secara acak, seperti yang dipakai dalam penelitian ini, maka nilai kekuatannya tergantung pada nilai parameter efisiensi (K). Dimana, nilai parameter efisiensi ini sangat dipengaruhi oleh volume fraksi pengisi dan juga rasio E_f/E_m . Sehingga persamaan diatas dapat disederhanakan kembali menjadi persamaan baru yang biasa disebut dengan "Rule of Mixtures" (ROM).^[9]

$$E_{cd} = K E_f V_f + E_m V_m \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

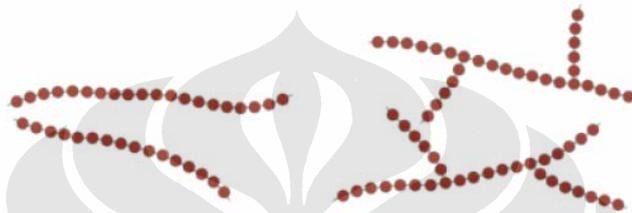
Berdasarkan persamaan ROM tersebut, dapat dilihat bahwa fraksi volume pengisi berbanding lurus dengan kekuatan komposit secara total. Nilai K, E_f , dan E_m merupakan konstanta tetap, sedangkan nilai $V_m = (1 - V_f)$. Oleh sebab itu, jika pengisi bersifat menguatkan, maka semakin besar nilai fraksi volume pengisi akan membuat kekuatan komposit secara total akan meningkat.

2.2 Polimer

Polimer (*polymer*) berasal dari bahasa Yunani yaitu *Poly* yang berarti banyak dan *mer* yang berarti partikel atau unit. Definisi polimer menurut *International Union for Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) adalah " Suatu material yang memiliki banyak molekul, terdiri dari pengulangan unit yang besar, jika ada penambahan maupun pengurangan dari beberapa unit tidak akan merubah sifat-sifatnya".^[10] Unit yang diulang dapat berupa satu *monomer* atau bahkan lebih, dan merupakan material awal pembentuk polimer. Pengulangan ini akan terus terjadi hingga menjadi seperti rantai disebut rantai polimer. Polimer dapat berupa kopolimer maupun homopolimer. Propilena yang kami pakai merupakan homopolimer, yaitu polimer yang tersusun dari satu jenis monomer, jelas dalam hal ini monomer propilena saja.

2.3 Polipropilena

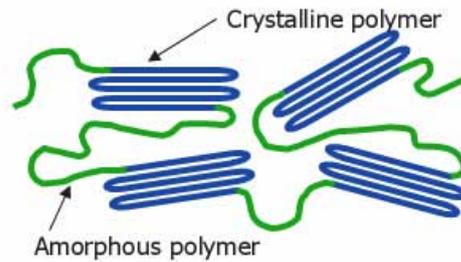
Polipropilena (PP) merupakan sebuah polimer hidrokarbon linier hasil reaksi polimerisasi dari propilena yang dapat dinotasikan sebagai C_nH_{2n} . Polipropilena merupakan polimer termoplastik yang digolongkan sebagai poliolefin atau polimer jenuh. Termoplastik berasal dari kata *thermos* yang artinya hangat dan *plasso* yang artinya mudah dibentuk. Polimer jenis ini terdiri dari makromolekul dengan rantai linear atau bercabang, yang menyatu bersama dalam ikatan antar molekul. Polimer jenis termoplastik tidak memiliki ikatan silang (*crosslink*).^[11]



Gambar 2. 2 Bentuk molekul rantai polimer lurus (kiri) dan bercabang (kanan)^[9]

Karakteristik utama termoplastik adalah sifatnya yang akan melunak (*softening*) jika dipanaskan sehingga akan melemahkan tenaga antar molekul yang kemudian mudah untuk dicetak. Beda dengan polimer lain, produk termoplastik yang telah dicetak dapat dipanaskan kembali untuk dicetak ulang.

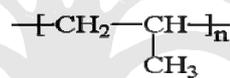
PP memiliki struktur semikristalin. Polimer semikristalin terdiri dari kristal-kristal yang membaaur dengan struktur *amorf*. Fasa kristalin adalah fasa dimana struktur rantai atau segmen rantai bergabung menjadi sangat dekat akibat adanya gaya Van der Waals sehingga rantai-rantai molekul PP tersusun secara teratur. Polimer mengkristal pada suhu tertentu ketika segmen-segmen rantai molekul mencapai posisi lurus dalam gerakan yang tidak beraturan. Dimana kecepatan kristalisasi akan menentukan besarnya ukuran kristal. Sedangkan, fasa *amorf* adalah bagian di mana rantai-rantai molekul tersusun secara acak dan tidak beraturan. Fasa kristalin merupakan fasa dengan berat jenis lebih besar dibandingkan dengan fasa amorf. Fasa kristalin memberikan kekuatan, kekakuan, dan kekerasan pada PP, namun di sisi lain fasa kristalin juga menyebabkan PP menjadi lebih getas sehingga mengurangi ketangguhan dan mudah pecah terutama pada temperatur rendah.^[9]



Gambar 2. 3 Struktur rantai polimer semikristalin yang terdiri dari fasa amorf dan fasa kristalin.^[9]

2.3.1 Struktur Molekul Polipropilena

Sifat fisik dan mekanik suatu polimer sangat bergantung pada struktur molekul polimer. Polipropilena merupakan polimer yang tersusun oleh monomer propilena dengan unit berulang seperti ditunjukkan oleh gambar 2.4. semakin banyak perulangan unit yang terjadi, atau dengan kata lain derajat polimerisasinya semakin besar, maka karakteristik yang diperoleh akan semakin unggul.



Gambar 2. 4 Struktur kimia monomer propilena.^[13]

2.3.2 Karakteristik Umum Polipropilena

Sifat-sifat khas yang dimiliki oleh material polimer yang pada umumnya menjadi unggulan adalah ringan, temperatur leleh yang rendah, dan bersifat isolator. Berat jenis polimer umumnya berkisar antara 0,9 – 0.95 g/cm³.^[12] Hal ini menunjukkan bahwa berat jenis polimer relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan logam dan keramik. Polipropilena tahan terhadap pewarnaan dan memiliki laju absorpsi kelembaban yang rendah.

Temperatur leleh material polimer tergolong rendah, sehingga temperatur prosesnya relatif rendah. Perpindahan panas pada material ini dilakukan dengan cara translasi, vibrasi dan rotasi dari rantai molekul dan besarnya konduktivitas tergantung dari derajat kristalinitas. Ditambah lagi, sifat viskoelastik polimer membuat material ini mudah dibentuk. Dengan demikian, biaya pembuatan material material polimer relatif lebih murah daripada material lain, seperti logam dan keramik. Akan tetapi, sifat termal ini juga berdampak negatif karena temperatur leleh yang rendah sama artinya dengan ketahanan panas yang buruk,

sehingga diperlukan perhatian yang lebih mendalam apabila material ini akan dipakai untuk aplikasi pada temperatur tinggi. Sifat-sifatnya akan sangat berubah akibat pengaruh temperatur. ^[9,12,13]

Propilena biasa dikopolimerisasi dengan etilena untuk meningkatkan ketangguhannya, namun PP yang kami pakai merupakan homopolimer, yaitu polimer yang tersusun dari satu jenis monomer, dalam hal ini monomer propilena saja. Polimer ini memiliki kuat tarik, kekakuan, ketahanan panas dan kekuatan yang tinggi sehingga cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi seperti *films*, *injection molding*, *sheet thermoforming*, *yarn*, dan *fiber multifilament*. ^[39]

2.3.3 Viscoelastik

Karakteristik umum polimer yang juga merupakan karakteristik PP adalah sifat viskoelastis, yaitu perpaduan antara sifat elastis dan kental (*viscous*). Bahan yang bersifat viskoelastik dapat mengalami pemelaran dengan relaksasi tegangan. Apabila suatu polimer dikenai suatu beban, perpanjangan yang terjadi tidak selalu sebanding dengan beban. Pada saat beban diturunkan, sebagian regangan hilang, namun sebagian lagi tidak kembali ke asal. Sifat-sifat fisik dari polimer dipengaruhi oleh sifat viskoelastisitas. ^[14] Dalam pengamatan mekanik polimer, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Sifat viskoelastisitas polimer menyebabkan polimer dapat mengalami pemuluran dan juga relaksasi tegangan.
2. Pada temperatur yang tinggi, banyak polimer yang ketahanannya rendah.
3. Pada pemanasan, regangan sisa pada saat pencetakan dapat menyebabkan polimer retak.
4. Dalam pelarut, minyak dan air yang mengandung surfaktan, beberapa polimer memiliki ketahanan yang baik dalam waktu yang pendek.
5. Reologi adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari deformasi dan sifat aliran suatu bahan. Dalam dunia industri, kontrol terhadap aliran sangat penting pada hampir seluruh proses dan operasi. Beberapa istilah yang penting dalam reologi adalah :^[6,15]
 - Tegangan geser, yaitu gaya persatuan luas yang bekerja secara tangensial pada cairan yang mengakibatkan terjadinya aliran geser (*shear flow*).

$$\tau = F/A \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana, τ = tegangan geser (N/m²) atau)Pa)
 F = gaya (N)
 A = luas area (m²)

- Laju geser, yaitu perubahan kecepatan alir terhadap jarak pada arah aliran.

$$\gamma = dv/dx \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana, γ = laju geser (s-1)
 dv = kecepatan (satuan jarak/s)
 dx = jarak (satuan jarak)

Viskositas, yaitu ketahanan material terhadap aliran pada tegangan mekanik tertentu. Viskositas dinyatakan dalam g/cm.s atau poise.

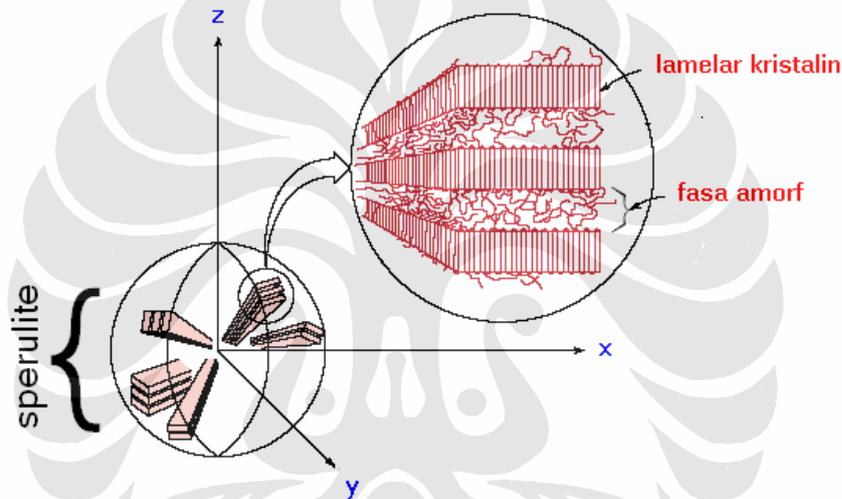
2.3.4 Kritalisasi dan Nukleasi

Keunikan dari polimer semi-kristalin adalah sifat termalnya karena memiliki dua temperatur transisi, yaitu temperatur transisi glass (T_g) dan temperatur leleh (T_m). Temperatur transisi glass adalah temperatur di mana terjadi perubahan fasa dari fasa *glassy* (kaku) menjadi fasa *rubbery* (lentur), sedangkan temperatur leleh adalah temperatur di mana PP mulai meleleh menjadi lelehan kental. Selain itu, PP juga memiliki temperatur kristalisasi (T_{kris}), namun T_{kris} bukanlah temperatur transisi. Temperatur kristalisasi adalah temperatur dimana molekul mulai menyusun diri membentuk suatu kisi (susunan) tertentu secara beraturan.^[9,13]

Pada saat polimer dilelehkan, molekul-molekul akan terpisah dan saling menjauh serta akan terjadi vibrasi-vibrasi dan rotasi sehingga struktur molekul menjadi tidak teratur. Proses pemanasan ini membuat struktur teratur pada kristalin menjadi acak, sedangkan struktur amorf menjadi lebih mengembang dan lebih tidak teratur.

Sebaliknya proses pendinginan diikuti dengan penurunan volume karena strukturnya menyusut kembali seperti seperti sebelum dipanaskan. Jika proses pemanasan dan pendinginan tidak merata, maka antara pengembangan dan penyusutan tersebut teradapat penyusutan volume. Fenomena ini disebut dengan pengkerutan (*shrinkage*).^[16] Pada waktu didinginkan gerakan-gerakan molekul akan berhenti dan struktur molekul akan teratur kembali. Efek kecepatan pendinginan sangat berpengaruh pada pemulihan struktur yang terjadi. Pada saat pendinginan inilah terjadi kristalisasi.

Pembentukan inti kristal pada PP terjadi mulai dari temperatur kristalisasi sampai temperatur transisi glass atau sampai kristal yang telah tumbuh saling menyentuh kristal yang lain. Temperatur kristalisasi adalah temperatur di antara temperatur transisi glass dan temperatur leleh, yang mana pada temperatur ini mulai terjadi pertumbuhan inti kristal. Pembentukan inti kristal ini berawal ketika beberapa segmen molekul polimer mengatur diri pada arah yang sama dan membentuk kisi secara beraturan. Pertumbuhan kisi yang beraturan ini berlanjut membentuk struktur berlapis-lapis yang disebut dengan lamela. Lamela akan terus tumbuh dengan arah pertumbuhan yang beragam menjauhi inti kristal sehingga membentuk *spherulite* berupa bola.^[9,13,17]



Gambar 2. 5 Struktur sperulit yang tersusun dari fasa kristalin berlapis (lamelar)^[9]

Penambahan *nucleating agent* pada polimer menyebabkan pertumbuhan inti kristal lebih cepat, sehingga inti yang terbentuk lebih banyak. Dengan semakin banyak inti kristal, maka kristal-kristal yang terbentuk akan semakin mudah bersentuhan satu sama lain dan pertumbuhan kristal akan berhenti.^[13]

2.4 Kayu Karet

Karet adalah tanaman perkebunan tahunan berupa pohon batang lurus. Pohon karet pertama kali hanya tumbuh di Brasil, Amerika Selatan. Pada tahun 1876 pembudidayaan tanaman karet mulai dilakukan di Indonesia.^[18] Klasifikasi botani tanaman karet adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Nomenklatur botani tanaman karet^[18]

Nomenklatur	Nama Latin
Divisi	Spermatophyta
Sub divisi	Angiospermae
Kelas	Dicotyledonae
Keluarga	Euphorbiaceae
Genus	Hevea
Spesies	Hevea brasiliensis.

Karet merupakan produk dari proses penggumpalan getah tanaman karet (*lateks*). Pohon karet normal disadap pada tahun ke-5. Satu siklus tanaman karet untuk menghasilkan lateks sekitar 30 tahun, namun setelah masa tersebut, kebun karet tidak produktif lagi sehingga perlu diremajakan. Pohon-pohon seperti ini umumnya pemanfaatannya masih tergolong rendah. Biasanya pohon yang sudah tidak produktif di tebang dan dijadikan sebagai sumber bahan baku pabrik pengolahan kayu karet, sebagai kayu bahan bangunan rumah, kayu api, arang, ataupun kayu gergajian untuk alat rumah tangga dan sebagai kayu bakar dan sebagian lainnya terbengkalai.^[19]

Data Departemen Kehutanan dan Perkebunan tahun 1999/2000 menunjukkan bahwa produksi kayu lapis Indonesia mencapai 4,61 juta m³ sedangkan kayu gergajian mencapai 2,06 juta m³. Dengan asumsi limbah yang dihasilkan mencapai 61% maka diperkirakan limbah kayu yang dihasilkan mencapai lebih dari 5 juta m³.^[20]

Salah satu sifat fisik kayu karet yang cukup penting adalah kerapatan atau berat jenis. Kerapatan kayu karet tergolong setengah berat yaitu berkisar antara 0,62–0,65 g/cm. Nilai penyusutan (stabilitas dimensi) kayu karet sangat kecil, hanya sedikit lebih kecil dari kayu jati penyusutan kayu karet dari basah sampai kering udara arah radial dan tangensial jauh lebih kecil, yaitu 1,77–3,05%.^[19]

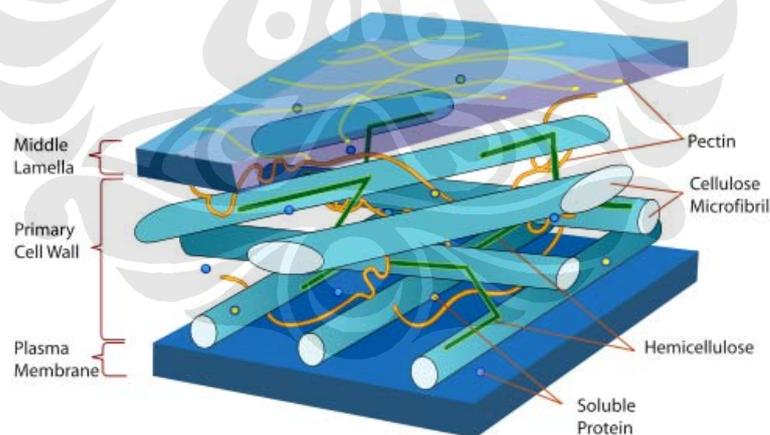
Seperti kayu pada umumnya, kayu karet merupakan bahan yang bersifat higroskopis, yaitu dapat menyerap atau melepaskan kadar air (kelembaban) sebagai akibat perubahan kelembaban dan suhu udara disekelilingnya. Makin lembab udara disekitarnya makin tinggi pula kelembaban kayu sampai tercapai

keseimbangan dengan lingkungannya. Dalam kondisi kelembaban kayu sama dengan kelembaban udara disekelilingnya disebut kandungan air keseimbangan (EMC = *Equilibrium Moisture Content*).^[21]

Serbuk kayu yang dipakai dalam penelitian ini berasal dari hasil peremajaan/penebangan pohon karet yang berumur lebih dari 30 tahun. Kayu pohon karet tersebut dihancurkan sehingga berbentuk serbuk. Kemudian serbuk kayu di screening atau diayak agar diperoleh ukuran butir 18 mesh.

2.4.1 Kandungan Kimia Pohon Karet

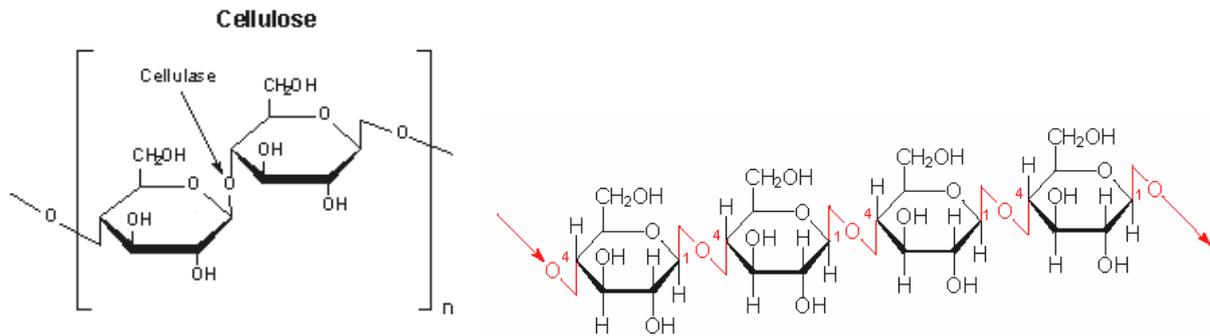
Sifat-sifat kimia yang penting dari kayu karet antara lain adalah kadar holoselulose, lignin, dan ekstraktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar holoselulose kayu karet yang cukup tinggi, yaitu sekitar 67,38%, kadar lignin 20,68%, lebih besar dibandingkan dengan kayu *A. mangium* yang umum digunakan untuk bahan baku pulp yaitu sebesar 26,72%, dan kadar zat ekstraktif tergolong tinggi, yaitu 4,58%. Kayu karet dengan kandungan holoselulose tinggi sangat baik sebagai bahan baku kertas karena akan menghasilkan rendemen pulp yang tinggi.^[19]



Gambar 2. 6 Struktur jaringan pada serat kayu^[22]

2.4.1.1 Selulosa

Selulosa merupakan senyawa organik dengan formula $(C_6H_{10}O_5)_n$, yang terdiri dari rangkaian polisakarida yang terdiri dari ratusan sampai puluhan ribu rantai linier $\beta(1 \rightarrow 4)$ glikosida yang diperoleh dari unit D-glukosa dan berwujud cincin membran segi enam.^[22]



Gambar 2. 7 Struktur kimia selulosa dalam bentuk polimer (kiri) dan monomer (kanan)^[23]

Selulosa merupakan gabungan rantai-rantai linier tanpa cabang dari residu glukosa yang berikatan secara kovalen. Setiap rantai polimer terangkai secara parallel dan membentuk selulosa mencapai 90% fasa kristalin. Namun sifat kristalin ini dapat berubah menjadi amorf jika selulosa dipanaskan pada temperatur dari 320° C dan tekanan 25 MPa di dalam air. Selulosa adalah komponen struktural utama yang terdapat pada hampir semua dinding sel tumbuhan hijau.

Selulosa cukup stabil dan tidak mudah larut. Gugus hidroksil pada residu glukosa dari satu rantai membentuk ikatan hidrogen dengan molekul oksigen pada rantai lain. Ikatan hydrogen antar rantai ini membentuk jaringan rantai-rantai dengan sangat kuat dan membentuk mikrofibril-mikrofibril dengan kekuatan tarik yang tinggi. Kekuatan inilah yang berperan penting di dalam dinding sel, yang berfungsi sebagai pengikat matriks karbohidrat, sekaligus membuat sel tumbuhan menjadi kaku. Mikrofibril umumnya memiliki diameter sekitar 20-30 nm dan mengandung 2000 molekul selulosa.^[24]

Secara kimiawi, selulosa dapat dipecah menjadi unit-unit glukosa jika diberi asam pekat pada temperatur tinggi. Sel tumbuhan tersusun dari satu jaringan mikrofibril selulosa yang menyatu dalam matriks dari hemiselulosa, lignin, pektin dan unsur-unsur lain, juga mengandung air dalam kadar yang cukup tinggi.

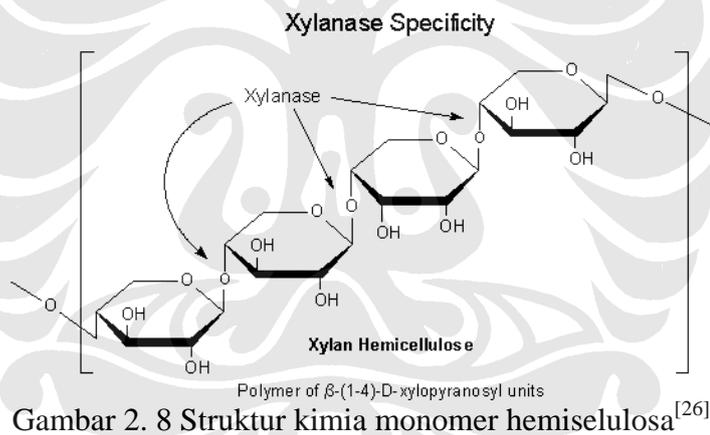
2.4.1.2 Holoselulosa

Holoselulosa merupakan komponen kedua yang paling banyak terdapat pada kayu karet (67,38%).^[19] Holoselulosa merupakan gabungan dari hemiselulosa dan lignin dengan kadar selulosa (40–45%) dan hemiselulosa (15–

25%). Holoselulosa dibuat dari gula sederhana seperti D-glucose, D-mannose, D-galactose, D-xylose, L-arabinose, D-glucuronic acid, dan lesser L-rhamnose and D-fucose (dalam jumlah sedikit). gula sederhana tersebut merupakan golongan hidroksil sehingga bersifat higroskopis (menyerap air).^[25]

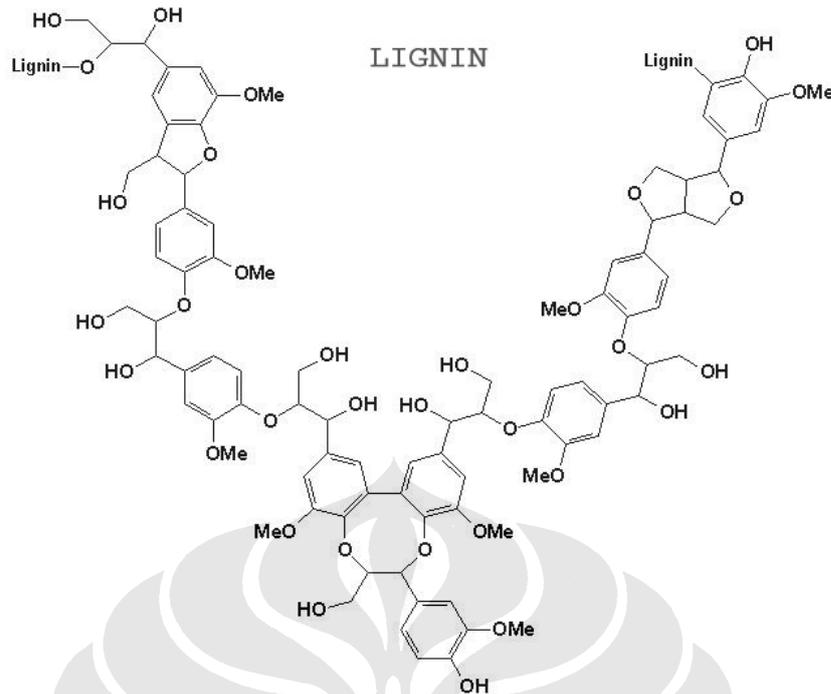
2.4.1.3 Hemiselulosa

Hemiselulosa adalah satu polisakarida yang merupakan selulosa yang meliputi 20% biomassa dari sebagian besar tanaman. Seperti selulosa, hemiselulosa juga merupakan polisekarida, namun terbentuk dari unit gula yang berbeda. Hemiselulosa diperoleh dari beberapa gula sebagai tambahan terhadap glukosa, yaitu xilosa, manosa, galaktosa, ramnosa, dan arabinosa. Hemiselulosa umumnya bercabang, sedangkan selulosa tidak bercabang. Orde derajat polimerisasi hemiselulosa yaitu sekitar 200-300 dan dapat membentuk fasa kristalin, sama seperti selulosa, namun jumlahnya lebih sedikit.^[26]



2.4.1.4 Lignin

Lignin merupakan senyawa kimia kompleks yang mengisi tempat pada dinding sel tumbuhan antara selulosa, hemiselulosa, dan unsur pektin. Lignin bersifat hidrofobik dan sangat berperan dalam sistem pengangkutan air pada tumbuhan. Lignin berikatan secara kovalen dengan hemiselulosa dan sekaligus membentuk ikatan silang dengan gugus polisakarida lainnya pada tumbuhan.^[27]



Gambar 2. 9 Struktur kimia senyawa kompleks lignin^[27]

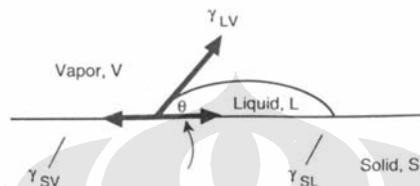
Kesemua senyawa kompleks penyusun serat kayu tersebut, baik selulosa, hemiselulosa, holoselulosa maupun lignin, merupakan senyawa hidrokarbon yang memiliki ikatan gugus hidroksil. Gugus hidroksil inilah yang memiliki peranan penting dalam keterpaduan WPC, sebab maleat anhidrat dalam coupling agent akan beraksi dengan gugus hidroksil tersebut.^[28] Semakin banyak gugus hidroksil yang terdapat pada serat kayu berarti semakin banyak ikatan yang dapat terbentuk dan pembasahan matriks ke serat kayu semakin baik. Sehingga keterpaduan kedua konstituen tersebut semakin baik.

2.5 Zat Penggabung (*Coupling Agent*)

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, PP bersifat nonpolar, sedangkan serbuk kayu sangat polar. Perbedaan polaritas ini akan menyebabkan pembasahan (*wetting*) antara kedua antar muka (*interface*) substituen komposit tersebut kurang baik sehingga antara matriks dengan pengisi tidak saling kompatibel dan dispersi yang terjadi tidak akan homogen. Atau dengan kata lain, ikatan yang terjadi tidaklah kuat. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu adanya zat perantara yang dapat menyatukan kedua konstituen tersebut agar pencampuran terjadi secara sempurna. Zat yang dimaksud adalah zat penggabung atau *coupling agent*.

2.5.1 Kemampuan Pembasahan (*Wettability*)

Kemampuan pembasahan adalah kemampuan suatu material untuk membasahi suatu permukaan dengan sempurna. Pembasahan atau wetting terjadi jika tercipta kesetimbangan tiga tegangan permukaan sehingga cairan dapat menyebar dan membasahi permukaan padatan^[29] seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. 10 Kesetimbangan tiga permukaan dalam kondisi wetting^[30]

Pada kondisi seperti ditunjukkan pada gambar tersebut, berlaku hukum:

$$\gamma_{SL} = \gamma_{SV} - \gamma_{LV} \cos \theta \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana :

- γ_{SL} = tegangan permukaan antara padatan dan cairan,
- γ_{SV} = tegangan permukaan antara padatan dan uap,
- γ_{LV} = tegangan permukaan antara cairan dan uap, dan
- θ = sudut kontak antara tetesan cairan dan permukaan padatan.

Berdasarkan persamaan pembasahan tersebut dapat diketahui bahwa sudut kontak kurang dari 90° ($\theta < 90^\circ$) merepresentasikan pembasahan yang baik ($\gamma_{SV} > \gamma_{SL}$) dan merupakan gaya pendorong untuk terjadinya penyebaran atau pemerataan tegangan permukaan. Dengan $\theta < 90^\circ$, energi antar permukaan (*interfacial energy*) akan tinggi, sedangkan tegangan permukaannya akan cenderung kecil sehingga gaya adhesi akan lebih besar daripada gaya kohesinya. Dengan demikian terjadi pembasahan yang sangat baik.^[29,30]

Hal inilah yang menjadi faktor utama dihasilkannya material komposit dengan keterpaduan yang baik. Keterpaduan suatu material dikatakan baik apabila di seluruh bagian pengisi dibasahi oleh matriks dengan sempurna. Pada prinsipnya, energi permukaan yang relatif sama antara matrik dan pengisi, akan menghasilkan tegangan permukaan yang relatif kecil sehingga terjadi pembasahan yang sempurna.^[6,28] Akan tetapi, energi permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh

daya pembasahan. Faktor lain yang turut mempengaruhi besarnya energi permukaan adalah struktur kimia, komposisi kimia, kepolaran, dan adhesivitas.

2.5.2 Peran Zat Penggabung dalam Komposit PP-Serbuk Kayu

Kelengketan dan pembasahan antara permukaan matriks dengan bahan pengisi merupakan faktor yang sangat vital untuk menentukan baik-buruknya suatu keterpaduan komposit dan sekaligus mempengaruhi sifat mekanik. Kelengketan dan sifat pembasahan yang baik tentu akan menciptakan keterpaduan yang baik dan akan menghasilkan material komposit yang relatif lebih baik. Seperti dijelaskan sebelumnya, keterpaduan suatu material dikatakan baik apabila di seluruh bagian pengisi dibasahi oleh matriks dengan sempurna. Energi permukaan yang relatif sama antara matrik dan pengisi, menghasilkan tegangan permukaan yang relatif kecil sehingga terjadi pembasahan yang sempurna.

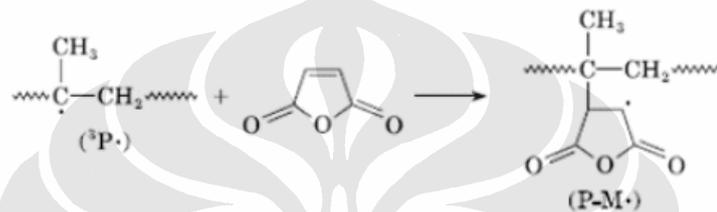
Akan tetapi, komposit yang akan diteliti merupakan gabungan polipropilena yang bersifat nonpolar dengan serbuk kayu yang cukup polar. Perbedaan polaritas ini akan menghasilkan tegangan permukaan yang relatif besar dan menyebabkan kedua substituen komposit tersebut tidak saling kompatibel dan dispersi yang terjadi tidak homogen. Akibat lainnya adalah tidak kuatnya ikatan yang terjadi. Oleh sebab itu, sangat diperlukan zat penggabung atau *coupling agent* yang dapat menyatukan kedua konstituen tersebut agar pencampuran terjadi secara sempurna.

Zat penggabung berfungsi sebagai jembatan perantara untuk menyatukan perbedaan polaritas dengan cara memperbaiki sifat adhesi dan memperkecil tegangan permukaan yang terjadi antara kedua konstituen yang dipakai sehingga saling kompatibel. Selain itu, zat penggabung juga membantu dispersi bahan pengisi di dalam matriks, bahkan beberapa zat penggabung juga sekaligus memperbaiki performa secara mekanik dan memperbaiki sifat permukaan.^[13,31]

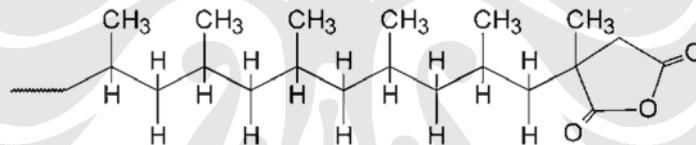
Pada prinsipnya, zat penggabung memiliki keterpaduan yang sangat baik terhadap matriks komposit berdasarkan sifat adhesinya dan berikatan kimia dengan gugus fungsi pada material pengisi (biasanya dengan gugus hidroksil), baik berupa ikatan kovalen maupun ikatan hidrogen.^[28] Dengan demikian, tegangan permukaannya akan cenderung kecil sehingga gaya adhesi akan lebih besar daripada gaya kohesinya dan terjadi pembasahan yang sangat baik.

2.5.3 Kopolimer Cangkok Polipropilena-Anhidrida Maleat

Zat penggabung yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis kopolimer cangkok polipropilena-anhidrida maleat (PPMA). PPMA merupakan jenis kopolimer cangkok (grafting co-polymer), dimana PP sebagai rantai utama dicangkok dengan molekul maleat anhidrida pada atom karbon tersier (atom karbon yang mengikat tiga atom karbon lain) dalam rantai PP tersebut. Kekentalan PPMA relatif rendah pada saat leleh, sehingga memiliki fleksibilitas yang cukup tinggi dan lebih agresif mengikat matriks PP dalam WPC.^[28]

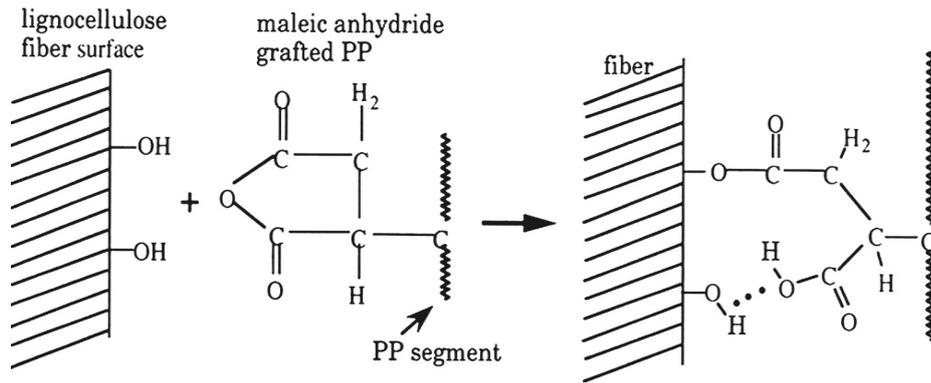


Gambar 2. 11 Pencangkokan maleat anhidrate pada karbon tersier PP.^[32]

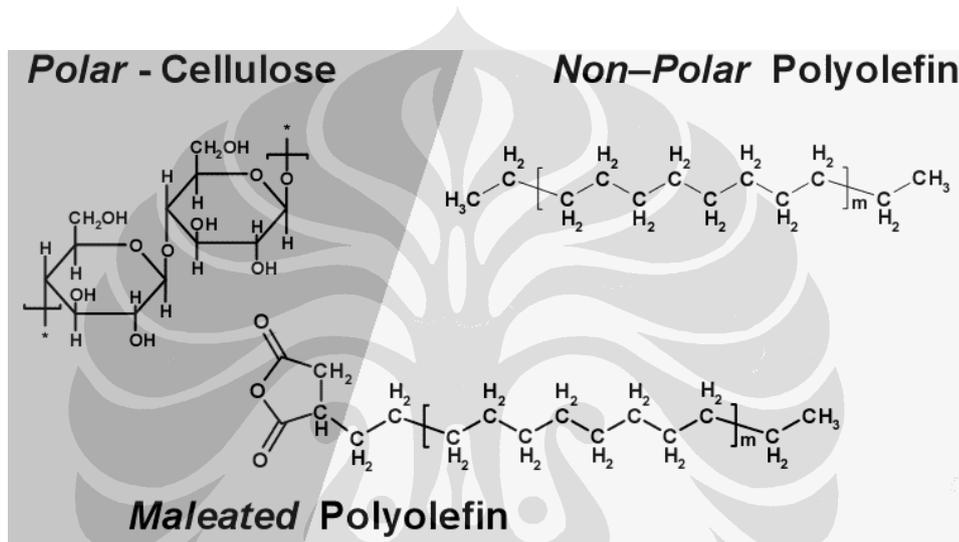


Gambar 2. 12 Struktur kimia molekul PPMA, dimana molekul-anhidrida-maleat-nya tercangkok pada ujung rantai polipropilena.^[33]

Prinsip kerja PPMA sama seperti zat penggabung pada umumnya. PP dalam PPMA larut atau berpadu (*miscible*) dengan matriks komposit. Sedangkan gugus anhidrida pada maleat anhidrat sangat reaktif terhadap gugus hidroksil yang terdapat pada lignin dan selulosa, senyawa kimia utama pada kayu. Sehingga terjadi ikatan kovalen membentuk gugus ester (*ester linkage*) dan membentuk gugus asam, yang kemudian berikatan hidrogen dengan gugus hidroksil lainnya pada lignin atau selulosa.^[28] Semakin banyak molekul anhidrida maleat yang tercangkok pada PPMA, maka ikatan antara matriks PP dengan pengisi serbuk kayu akan semakin kuat karena ikatan kovalen dan ikatan hidrogen yang terjadi semakin banyak.



Gambar 2. 13 Reaksi antara gugus anhidrida pada PPMA dengan gugus hidroksil pada permukaan kayu. [28]



Gambar 2. 14 Pengikatan bagian Maleat Anhidrat dari PPMA dengan gugus hidroksil kayu dan bagian PP dari PPMA dengan matriks PP. [33]

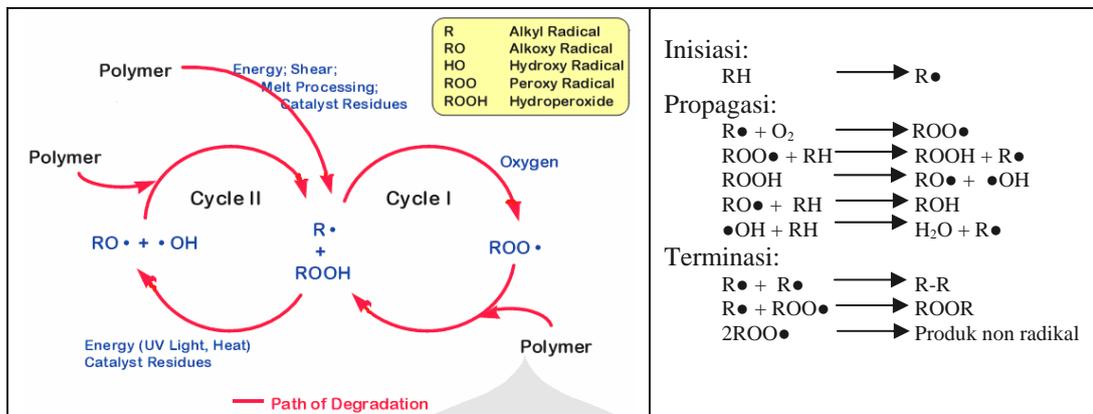
2.6 Antioksidan

Seperti polimer pada umumnya, kelemahan utama PP adalah mudah mengalami kerusakan akibat degradasi. Proses degradasi akan menghasilkan radikal bebas yang akan merusak rantai molekul secara berkesinambungan sehingga kualitas polimer akan terus menurun. Degradasi akibat oksidasi seperti ini dapat dikurangi dan dicegah dengan menggunakan aditif antioksidan. [34]

2.6.1 Degradasi pada Polimer

Degradasi adalah pemutusan rantai molekul polimer akibat adanya pengaruh cahaya, panas, atmosfer, dan lingkungan. Material polimer yang telah mengalami degradasi akan mengalami oksidasi dengan sendirinya (auto-oksidasi),

membentuk radikal peroksida, kemudian radikal ini akan merusak rantai polimer lain^[35], sehingga proses perusakannya akan terus-menerus terjadi.



Gambar 2. 15 Mekanisme sirkulasi degradasi polimer^[34]

Tahap pertama adalah tahap inisiasi, dimana pada tahap ini radikal bebas menginisiasi terjadinya reaksi oksidasi, tahap kedua adalah propagasi dimana radikal bebas yang terbentuk akan bereaksi dengan oksigen dan diakhiri dengan tahap terminasi atau tahap pengakhiran dari reaksi oksidasi.^[35]

Degradasi bisa menyebabkan terjadinya ikat-silang ataupun pemutusan rantai pada polimer. Pemutusan rantai menyebabkan berat molekul turun sehingga aliran leleh (*melt flow*) tinggi dan mengurangi kekuatan tarik. Kerusakan ini dapat teramati dengan adanya perubahan warna, berkurangnya kekilapan dan kejernihan. Dampak yang lebih buruk yaitu berupa penurunan kekuatan dan kekakuan, juga fleksibilitas.^[35]

2.6.2 Mekanisme Kerja Antioksidan

Degradasi akibat oksidasi seperti ini dapat dikurangi dan dicegah dengan menggunakan aditif antioksidan. Antioksidan adalah suatu zat aditif yang berfungsi untuk mencegah terjadinya reaksi oksidasi oleh udara/oksigen yang dapat menyebabkan polimer terdegradasi.^[13]

Antioksidan dibagi dua jenis menurut fungsi mekanisme pencegahan oksidasi yaitu antioksidan primer dan antioksidan sekunder. Antioksidan primer berfungsi dengan mendonasikan hidrogen ke reaksi radikal bebas peroksi untuk mencegah tahap propagasi. Antioksidan sekunder menghambat oksidasi dengan menyiapkan proliferasi alkoksi dan radikal hidroksi dengan mengurangi

hidroperoksida menjadi produk yang tidak reaktif. Kombinasi kedua antioksidan menghasilkan perpaduan yang sinergi. Antioksidan primer memiliki tiga tipe yaitu amina, fenolik dan garam metal. Tipe fenolik adalah jenis yang lebih umum digunakan sebagai contoh fenolik sederhana antara lain bisfenolik, polifenolik dan tiobisfenolik. Contoh amina adalah dari jenis arilamina, sedangkan jenis antioksidan sekunder berupa organofosfit, tioester dan metal deaktivator.^[36]

1. Pendonor Hidrogen (Antioksidan Fenolik)^[36]

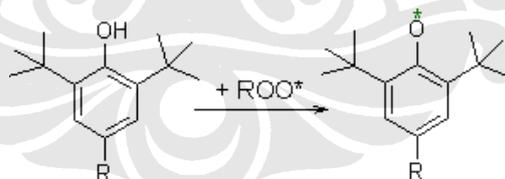
Degradasi pada PP diawali oleh pelepasan atom hidrogen yang mudah terlepas terutama pada gugus metilnya akibat pengaruh panas, akibatnya atom karbon sebagai gugus metil tersebut akan menjadi radikal yang seterusnya akan mudah teroksidasi menjadi radikal peroksida.

Rantai polimer yang terdapat radikal peroksida akan merusak rantai polimer lainnya dengan mengikat atom hidrogen pada rantai polimer lain sebagai berikut.



(Keterangan: R = rantai polimer, * = radikal)

Antioksidan fenolik diperlukan untuk menyumbangkan atom hidrogen kepada radikal-peroksida rantai polimer sehingga membentuk hidroperoksida rantai polimer.



(Keterangan: R = rantai polimer, In = donor hidrogen, * = radikal)

Antioksidan fenolik memperlambat proses pemutusan rantai polimer. Namun, hidroperoksida rantai polimer dengan lambat akan terputus membentuk radikal hidroksida dan radikal oksida rantai polimer.



Oleh karena itu, penggunaan antioksidan fenolik harus disertai dengan pendekomposisi hidroperoksida.

2. Pendekomposisi Hidroperoksida (Antioksidan Organofosfor) ^[36]

Antioksidan organofosfor adalah antioksidan sekunder, biasanya berupa fosfit atau fosforit yang mana fungsinya adalah mencegah pembentukan radikal hidroksida dan radikal oksida rantai polimer dengan cara mendekomposisi hidroperoksida rantai polimer.



(Ket: R = rantai polimer, In = donor hidrogen, P = fosfor, X = senyawa organik)

2.7 Penangkap Asam (Acid Scavenger)

Metode polimerisasi Ziegler-Natta untuk memproduksi PP, menghasilkan ion Cl^- dan ion Ti^{4+} yang bersifat asam karena dapat membentuk ion H^+ dengan menghidrolisis uap air pada udara. Oleh sebab itu, dibutuhkan penangkap asam (Acid Scavenger) sebagai *polymer processing aid* (pembantu pemrosesan polimer) yang berfungsi untuk menetralkan asam yang terbentuk pada saat proses agar rantai polimer tidak terdegradasi, juga agar tidak merusak alat-alat proses. ^[36]

2.7.1 Sisa Katalis hasil polimerisasi Ziegler-Natta

Propilena sebenarnya termasuk poliolefin yang sulit dipolimerisasi. Namun berkat keberhasilan *Ziegler-Natta* dalam melakukan polimerisasi *stereospesifik*, propilena dapat dipolimerisasi dengan taksisitas yang dapat diatur. Bahkan, PP isotatik dapat dihasilkan dalam jumlah yang besar sehingga dapat dikembangkan menjadi skala industri. Polimerisasi *Ziegler-Natta* merupakan metode polimerisasi vinyl yang melibatkan *transition metal catalyst* seperti halnya TiCl_3 atau TiCl_4 , dan juga co-catalyst yang umumnya berasal dari logam golongan III seperti aluminium. Umumnya, polimerisasi dilakukan dengan bantuan sistem katalis. ^[11,17]

Sistem katalis merupakan kombinasi sinergis antara (pro)katalis, kokatalis, dan SCA (*Selective Control Agent*) untuk mempercepat laju reaksi polimerisasi. Prokatalis merupakan sebutan untuk katalis utama (inti) yang digunakan dalam reaksi polimerisasi. Contoh (pro)katalis ialah TiCl_3 dan TiCl_4 . Sedangkan

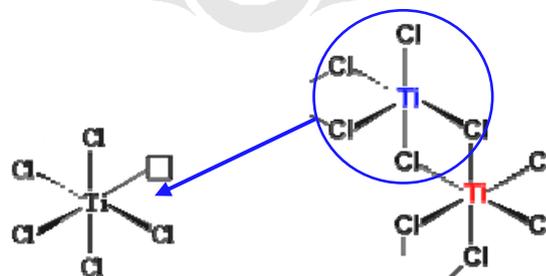
kokatalis bertindak sebagai aktivator katalis, yang mengaktifkan pusat aktif katalis. Kokatalis yang digunakan untuk proses polimerisasi propilena adalah TEAl (Tetra Etil Aluminium). Sedangkan SCA dalam reaksi polimerisasi propilena berfungsi sebagai pengatur komposisi taktisitas rantai molekul PP yang hendak dihasilkan. Contoh SCA ialah Normal Propil Trimetoksi Silane (NPTS) dan Cyclo Hexyl Metil Dimetoksi Silane (CHMDS). Dimana dalam hal ini, PP yang diproduksi oleh PT Tripolyta Tbk. menggunakan katalis-kokatalis TiCl_3 dengan $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$.^[37]



Gambar 2. 16 Struktur kimia TiCl_3 dan $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ ^[17]

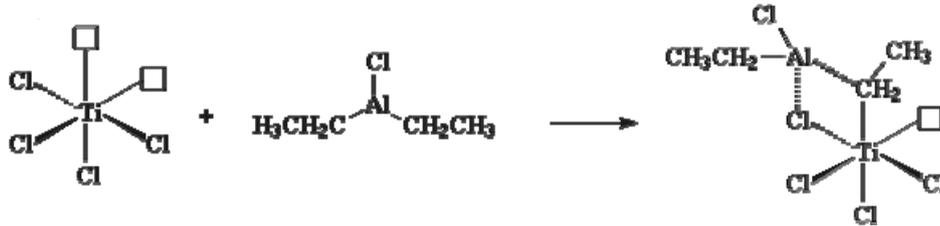
TiCl_3 dapat mengatur dirinya sendiri menjadi sejumlah struktur kristal. Salah satunya yang cukup menarik adalah $\alpha\text{-TiCl}_3$. Kita ketahui bersama bahwa titanium merupakan salah satu logam transisi dimana mereka memiliki 6 orbital kosong (dari 1 orbital 4s dan 5 orbital 3d) pada kulit terluar dari konfigurasi elektronnya. Guna mencapai kestabilan, titanium harus berikatan dengan sejumlah atom guna menempatkan 2 elektron pada tiap orbital sehingga tiap atom titanium berikatan dengan 6 atom *chlorine*, dengan bentuk geometri *octahedral*.^[17]

Namun atom titanium pada permukaan kristal memiliki atom-atom tetangga yang hanya cukup untuk mengisi 5 dari 6 orbital yang ada (orbital kosong ditandai dengan simbol bujur sangkar di bawah).



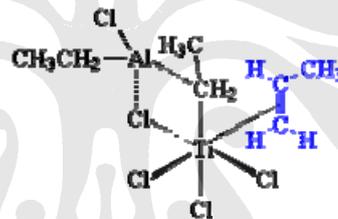
Gambar 2. 17 TiCl_3 di permukaan kristal $\alpha\text{-TiCl}_3$, memiliki satu orbital kosong.^[37]

Selanjutnya, titanium berusaha mengisi orbital ini, namun sebelumnya senyawa $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ masuk ke dalam sistem ini dengan jalan menendang salah satu atom klorin pada prosesnya.^[17]



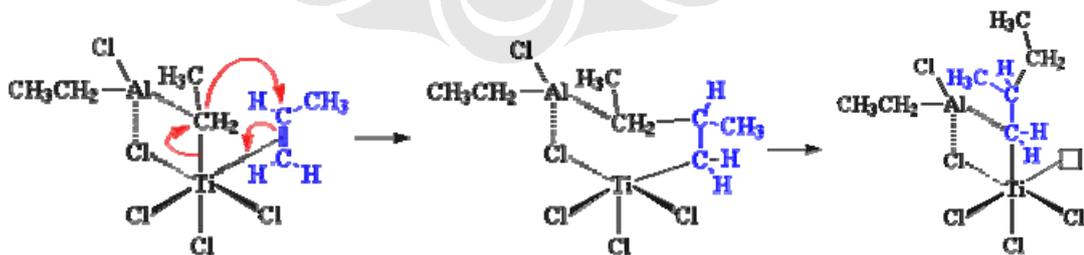
Gambar 2. 18 Reaksi katalis dengan kokatalis.^[37]

Al berikatan koordinat dengan CH_2 (CH_2 dari grup etil memberikan seluruh atom bebasnya pada titanium). Selain itu, Al juga berikatan dengan salah satu atom Cl yang berdekatan dengan titanium. Tapi titanium tetap memiliki satu orbital kosong untuk diisi dan masuklah propylene.^[17]



Gambar 2. 19 Infiltrasi propilena dalam senyawa kompleks.^[37]

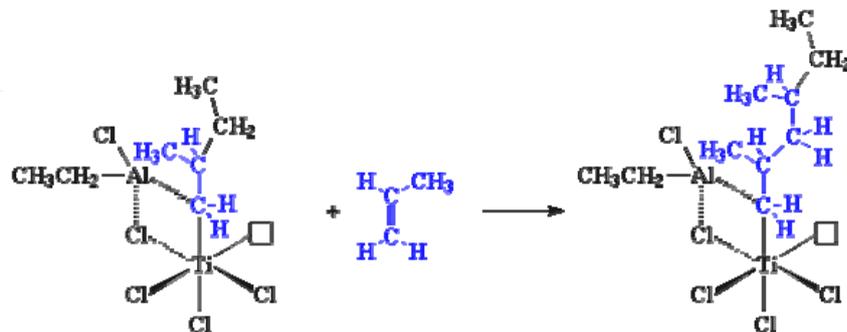
Kompleks tersebut kurang stabil dan cenderung terjadi perpindahan elektron (*electron shuffling*), dimana sejumlah pasangan elektron berpindah posisi sebagaimana terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2. 20 Terjadinya perubahan struktur kimia akibat perpindahan elektron ketika proses polimerisasi polipropilena.^[37]

Yang terjadi selanjutnya adalah proses migrasi. Atom-atom yang ada mengatur ulang dirinya guna membentuk struktur yang relatif lebih stabil. Namun, titanium kembali pada kondisi semula, dengan sebuah orbital kosong yang siap

untuk diisi oleh elektron dari luar. Kekosongan ini diisi kembali oleh propilena dan keseluruhan proses reaksi akan diulang kembali. ^[17]



Gambar 2. 21 Reaksi propagasi polimerisasi. ^[37]

Proses tersebut berulang terus sampai terjadi terminasi. Semakin banyak molekul *propylene* yang bereaksi, rantai polimer akan semakin panjang. ^[17]



Gambar 2. 22 Reaksi terminasi ^[17]

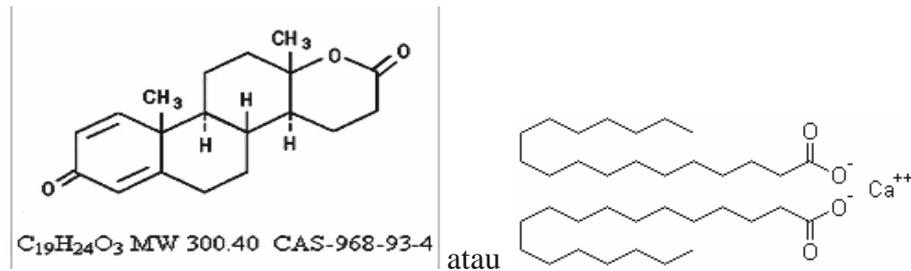
Terminasi reaksi polimerisasi propilena terjadi melalui reaksi antara rantai polimer dengan hidrogen. Produk akhirnya berupa polimer PP dengan sisa katalis $TiCl_4$. Dimana, ion Ti^{4+} pada sisa katalis $TiCl_4$ akan menghidrolisis uap air, sehingga terbentuk ion H^+ yang korosif. Selain itu juga terdapat ion Cl^- pada sisa katalis $TiCl_4$ yang juga bersifat korosif

2.7.2 Calcium Stearat sebagai *Acid Scavanger*.

Polimerisasi PP dengan metode Ziegler-Natta menghasilkan sisa katalis titanium tetraklorida ($TiCl_4$). Dimana $TiCl_4$ mengandung ion Ti^{4+} yang bersifat asam dan ion Cl^- yang bersifat korosif. Ion Ti^{4+} dapat menghidrolisis uap air pada udara dan membentuk ion H^+ . ^[36]



Untuk menangani hal tersebut, dibutuhkan penangkap asam untuk menetralkan asam yang terbentuk pada saat proses agar rantai polimer tidak terdegradasi, juga agar tidak merusak alat-alat proses. Selain itu, ion Cl^- juga bersifat korosif.

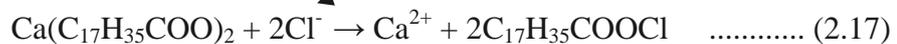


Gambar 2.23 Struktur kalsium stearat^[38]

Prinsip kerja kalsium stearat sebagai acid scavanger adalah dengan cara mengorbankan diri untuk menangkap ion H^+ . Dengan begitu, kondisi asam akan ternetralisir.



Fungsi lain dari kalsium stearat adalah sebagai pengisi (filler) untuk meningkatkan kepadatan (bulkiness), kekuatan, dan ketangguhan. Selain itu, kalsium stearat juga berfungsi sebagai penstabil panas yang berfungsi untuk mencegah terjadinya degradasi termal. Degradasi termal diantisipasi bukan hanya pada saat proses tetapi selama masa hidup produk akhir. Penstabil ini digunakan dalam plastik polipropilen karena residu reaksi katalis yang masih aktif berupa logam $TiCl_4$ jika terkena panas akan menyebabkan pelepasan klor yang menyebabkan perusaka rantai polimer. Kalsium stearat melakukan dehidroklorinasi.



2.8 Preparasi Sampel

2.8.1 Peletizing

Pelletizing merupakan proses ekstrusi yang bertujuan untuk merubah bentuk resin dan aditif yang telah dimixing pada proses dry blending untuk kemudian disatukan konstituen-konstituennya menjadi bentuk pellet. Pellet polimer ialah suatu produk setengah jadi yang terbuat dari material polimer atau

plastik, yang berbentuk silinder dan agak berbentuk balok. Ukuran pellet dalam pengujian ini bisa dibilang cukup kecil, yaitu panjangnya hanya sekitar 5 mm dengan diameter bervariasi sekitar 1–3 mm. Proses pelletizing terdiri atas empat tahap, yaitu dry blending, hot blending, cooling dan strand pelletizing.

2.1.1.1 *Dry Blending (Mixing)*

Tujuan dari *dry blending* adalah untuk memperoleh homogenitas yaitu ukuran dispersi dan distribusi konstituen (Serbuk kayu, PP, zat penggandeng dan aditif). Yang memegang peran penting dalam proses ini adalah parameter solubility antar polimer yang akan dicampur. Hasil yang diperoleh dari proses pencampuran (*mixing*) adalah homogenitas dari pencampuran resin dan aditif dan disini terjadi kontak permukaan antar konstituen, namun bukan secara kimiawi.

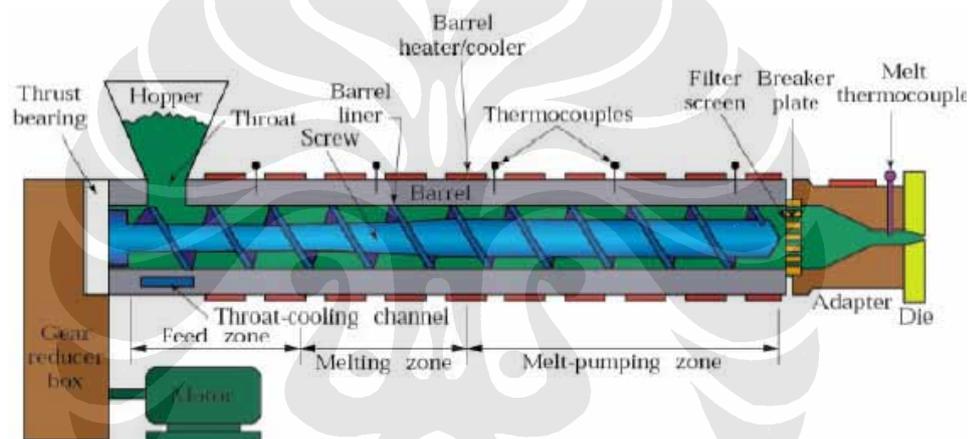
Pada prinsipnya, pencampuran kering (*dry blending*) memanfaatkan gaya sentrifugal untuk membuat material konstituen yang akan dicampur menjadi homogen. Pencampuran tersebut hanya terjadi pada permukaannya. Oleh sebab itu polimer, pengisi dan aditif harus saling kompatibel. Bila kompatibilitas tidak dapat diperoleh, maka dapat diatasi dengan cara penambahan *coupling agent*.^[36] Faktor-faktor yang mempengaruhi *dry blending* adalah hal-hal yang berkaitan dengan homogenitas, yaitu:

- Bentuk konstituen, pada prakteknya berbentuk powder.
Semakin kecil ukuran konstituen menyebabkan homogenitas yang terjadi semakin merata, maka pencampuran yang terjadi akan semakin baik.
- Jumlah konstituen.
Semakin sedikit jumlah konstituen yang dipakai, maka homogenitas akan semakin sulit untuk dicapai. Sehingga dibutuhkan pengadukan yang lebih tinggi agar pencampuran yang terjadi akan semakin baik.
- Waktu pencampuran,
Waktu pencampuran harus diatur dengan tepat agar pencampuran terjadi dengan sempurna. Jika waktu pencampuran terlalu sebentar, maka homogenitas tidak tercapai.
- Teknik *dry blending* yang digunakan,

Hal ini berkaitan dengan ketuhan kualitas material. Jika teknik pencampurannya kurang tepat, seperti pengaturan suhu pencampuran, justru dapat menyebabkan penggumpalan.

2.1.1.2 Hot Blending (Pelletizing)

Proses *hot blending* dilakukan setelah proses *dry blending* selesai. Proses *hot blending* bertujuan mengubah bentuk serbuk WPC yang telah bercampur menjadi *pellet* sehingga konstituen-konstituen sulit dipisahkan lagi. Di dalam proses ini menggunakan suatu ekstruder dengan kecepatan putaran screw. Selain itu, penelitian ini menggunakan *double screw* sehingga homogenisasi dapat tercapai. Tujuannya agar polimer tidak mengalami degradasi.



Gambar 2.24 Mesin Extruder^[36]

Material *compound* (komposit PP-serbuk kayu) dimasukkan ke mesin dalam bentuk resin atau serbuk. Resin PP dan serbuk kayu tersebut dimasukkan dengan memanfaatkan gaya gravitasi dari hopper melalui leher hopper ke barrel dan screw. Dimana proses pemasukannya dikontrol disesuaikan dengan daya tampung mesin ekstrusi.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar, *barrel* mesin injection mendukung *plasticizing screw*. *Screw* digunakan untuk mengkompres, melelehkan, dan membawa material. *Screw* terdiri dari tiga zona:

- a) *Zona Feeding*, daerah dengan ruang yang cukup besar untuk menampung lebih banyak pellet;
- b) *Zona Compression*, seiring dengan kedalaman kepala *screw* berkurang maka tekanan dalam *chamber* akan meningkat dan tingginya tekanan

dalam *chamber* ini ialah membuat panas yang dibutuhkan untuk melelehkan pellet menjadi berkurang. Zona ini berfungsi menyelesaikan pelelehan yang dimulai sejak zona *feeding*;

- c) *Zona Metering*, daerah yang kecil dan seragam ini adalah untuk mengontrol jumlah pellet yang masuk kedalam ruang ekstrusi. Pada zona ini juga terjadi tahapan pencampuran akhir.

Material tersebut akan masuk ke dalam *chamber* antara *screw* dan *barrel*. *Screw chamber* ialah ruangan yang memanjang dari *hopper* hingga ruang ekstrusi, yang berada diantara *screw* dan *barrel*. Di sepanjang *screw chamber* tersebut terdapat *heater band* yang berfungsi sebagai sumber panas untuk melelehkan pellet. *Screw chamber* dibuat panjang dan berputar selain agar pellet dapat bergerak maju tanpa banyak energi (bandingkan jika pellet didorong dengan suatu piston) juga agar panas yang diterima pellet merata dan homogen sehingga pellet dapat meleleh dengan sempurna.

Sementara diameter luar batas *screw* konstan, kedalaman ruang dari *reciprocating screw* berkurang dari *feed zone* sampai awal *metering zone*. Ruang ini menekan (*compress*) material dengan diameter barrel, yang menghasilkan *shear heat*. *Shear heat* ini berguna untuk melelehkan material. Heater band di luar barrel membantu mempertahankan material pada keadaan leleh. Umumnya, mesin ekstrusi mempunyai tiga atau lebih *heater band* atau zona dengan setting temperatur yang berbeda.

Sistem ekstrusi terdiri dari *hopper*, gabungan *reciprocating screw* dan *barrel*, dan sebuah *nozzle*, seperti yang digambarkan pada gambar diatas. Sistem ini mengumpulkan dan membawa plastik melalui proses *feeding*, *compressing*, *degassing*, dan *melting*.

Keunggulan dalam penelitian ini adalah penggunaan double screw dalam proses pelletasi. Dengan demikian pencampuran terjadi dengan homogen dan proses pembuatannya menjadi relatif lebih mudah sebab dengan metode ini, serbuk kayu menjadi tidak mudah terbakar.

2.1.1.3 Cooling bath

Proses *cooling bath* ini adalah proses setelah material leleh keluar dari *dies* dan kemudian langsung didinginkan. Proses pendinginan dalam penelitian ini menggunakan media udara. Hal ini mengingat sifat serbuk kayu yang sangat higroskopis, sehingga tidak boleh dilakukan pendinginan dengan media air. Dengan mempercepat proses pendinginan, maka pembuatan *pellet* ini akan semakin cepat dan *extrudate* juga akan mengalami pemantapan bentuk. Pendinginan dengan media udara ini, menggunakan *blower-blower* ukuran sedang di setiap sisi di sepanjang *cooling bath*.

2.1.1.4 Strand Pelletizer

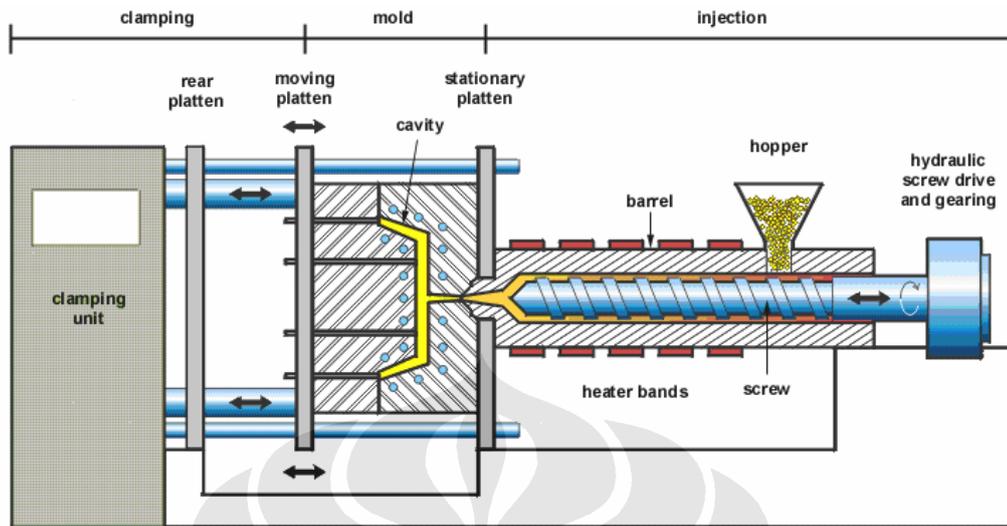
Alat ini berfungsi memberikan tegangan kepada *extrudate* dengan menariknya dan memotong-motong *extrudate* yang berupa *strand* menjadi *pellet* (potongan-potongan kecil) dengan pisau berputar (*rotatory blade*). Ukuran diameter *pellet* yang dihasilkan ditentukan oleh kekuatan *strand pelletizer* menarik *extrudate*, semakin kuat tarikan *strand pelletizer* ini, maka semakin kecil diameter *pellet* yang akan dihasilkan.

2.8.2 Pencetakan Injeksi (*Injection Molding*)

Pencetakan injeksi (*injection molding*) ialah salah satu metode pengubahan bentuk polimer dari material setengah jadi berupa *pellet* menjadi suatu produk jadi. Proses pencetakan injeksi merupakan proses yang berlangsung siklis, artinya langkah-langkah prosesnya akan terulang kembali secara periodik. Pencetakan injeksi biasa dipakai untuk memproduksi barang plastik dalam jumlah massal sebab metode produksi ini memiliki kecepatan dan ketepatan produksi yang sangat tinggi.^[31]

Pencetakan injeksi juga sangat aplikatif, sebab dapat digunakan untuk mencetak produk polimer dari ukuran beberapa mikrogram hingga lebih dari 30 kg, tergantung pada kapasitas mesinnya, dan selain itu juga dapat mencetak dari bentuk yang sederhana hingga bentuk yang sangat rumit sekalipun. Sedangkan dalam penelitian kali ini produk yang dihasilkan oleh mesin pencetakan injeksi di

laboratorium PT Tri Polyta Indonesia, Tbk. adalah spesimen untuk uji tarik, fleksural, kekerasan, dan izod.

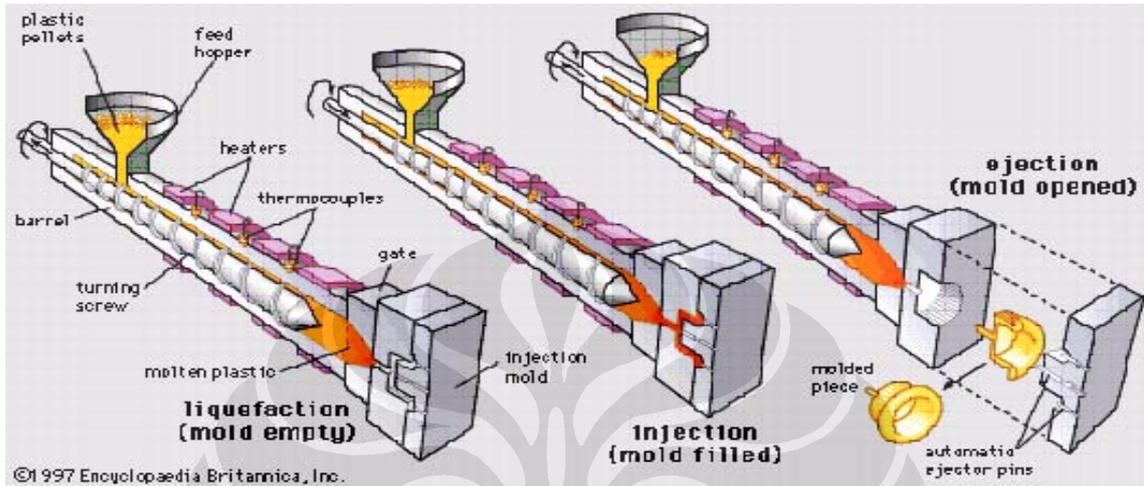


Gambar 2. 25 Mesin pencetakan injeksi^[36]

Sebenarnya, unit injeksi pada mesin pencetakan injeksi memiliki prinsip kerja yang sama seperti pada mesin ekstrusi biasa. Bedanya pada sistem cetakan (*mold*) yang digunakan dan adanya penambahan *clamping force* untuk menutup rapat cetakan, serta adanya proses peng-*inject-an Pellet* akan masuk ke dalam *chamber* antara *screw* dan *barrel*. *Screw chamber* ialah ruangan yang memanjang dari *hopper* hingga ruang ekstrusi, yang berada diantara *screw* dan *barrel*. Di sepanjang *screw chamber* tersebut terdapat *heater band* yang berfungsi sebagai sumber panas untuk melelehkan pellet. *Screw chamber* dibuat panjang dan berputar selain agar pellet dapat bergerak maju tanpa banyak energi, serta agar panas yang diterima pellet merata dan homogen sehingga pellet dapat meleleh dengan sempurna. Selama proses ini berlangsung, *mold* menutup dengan bantuan *clamping force*. Selama *screw* berputar, pellet padat akan terdorong maju dari *hopper* menuju ke ruang injeksi. Tekanan dalam ruang injeksi akan mendorong *screw* mundur ke arah *hopper* hingga jumlah pellet yang meleleh cukup untuk melakukan satu kali *shot* (pengisian cetakan).

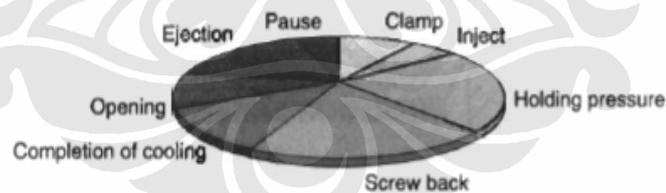
Setelah ruang injeksi penuh, maka *screw* bergerak maju dan *viscous liquid* (pellet cair) yang sudah mengisi penuh ruang injeksi akan terdorong dan masuk kedalam cetakan. Proses ini biasa disebut *full shot*. Proses *pencetakan injeksi* merupakan proses penyemprotan lelehan plastik melalui lubang yang sempit

(*gate*) ke dalam suatu ruangan (*cavity*) yang dingin. Mengalirnya plastik lumer di dalam cetakan pada umumnya melalui *sprue*, *runner*, *gate* baru kemudian masuk ke dalam *cavity* yang merupakan produknya sendiri. Kemudian setelah pengisian selesai, *screw* akan bergerak mundur sambil dilakukan pendinginan lelehan polimer di *mold*.



Gambar 2.26 Prinsip Kerja Pencetakan injeksi^[36]

Jika pendinginannya telah selesai, *mold* akan membuka dan produk akan di- *eject* keluar. Tahapan mekanisme tersebut akan berulang secara siklik.^[31] Dari awal pelelehan hingga pelepasan produk, seperti terlihat pada ilustrasi berikut:



Gambar 2.27 Ilustrasi tahapan pencetakan injeksi^[31]