

BAB II

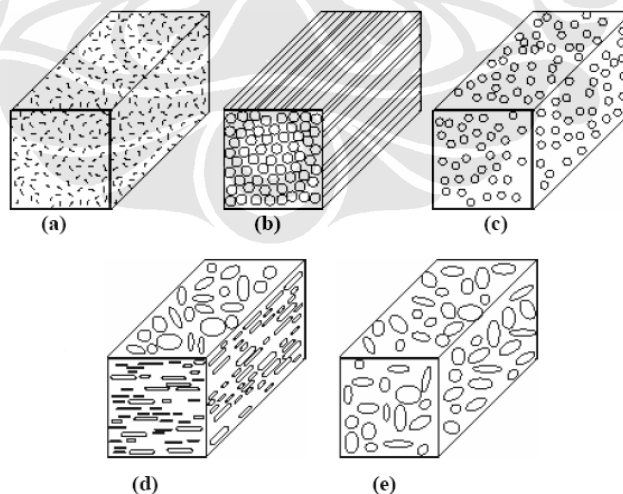
LANDASAN TEORI

II.1 KOMPOSIT

II.1.1 Umum

Komposit merupakan sistem material yang terdiri dari campuran atau kombinasi dari dua atau lebih mikro atau makro konstituen yang berbeda dalam bentuk dan komposisi kimia serta tidak saling melarutkan satu sama lain untuk memperoleh karakteristik dan sifat yang spesifik [2].

Konstituen penyusun komposit terdiri atas matriks dan penguat. Matriks berfungsi sebagai pengikat dan pentransfer beban ke penguat, sedangkan penguat berfungsi sebagai penahan beban tersebut. Matriks dapat terbuat dari material seperti polimer, logam, karbon, atau keramik [3]. Oleh karena itu, komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis matriksnya, seperti komposit bermatriks logam, komposit bermatriks keramik, dan komposit bermatriks polimer. Selain jenis matriks, komposit juga dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk penguatnya (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Klasifikasi komposit berdasarkan bentuk penguat : (a) komposit berpenguat serat acak/serat pendek, (b) komposit berpenguat serat kontinu/serat panjang, (c) komposit partikulat, (d) komposit serpihan, (e) komposit berpengisi [4].

II.1.2 Komposit Kayu - Plastik (Wood - Plastic Composite, WPC)

Komposit yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah komposit dengan pengikat material polimer dan pengisi serbuk kayu yang lebih dikenal dengan sebutan komposit kayu - plastik (*wood-plastic composites*, WPC). Agar lebih spesifik, untuk WPC dengan material plastik jenis polipropilena selanjutnya disebut komposit kayu - polipropilena (*wood-polypropylene composites*, WPPC).

Istilah WPC mengacu kepada “kayu” sebagai wakil material-material berserat yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, bisa berupa serbuk kayu atau serbuk gergajian, atau sisa-sisa tanaman pertanian yang dipotong, digiling, atau ditumbuk, atau jenis serat alami lainnya seperti rami, goni, dan kenaf. Semua pengisi WPC berbasis selulosa lain, seperti serbuk kayu, serbuk gergajian, dan sekam padi, merupakan material alami yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin [1].

Selulosa memberikan pengaruh positif pada sifat mekanik dan sifat-sifat lain dari material komposit (seperti mengurangi koefisien ekspansi atau penyusutan termal, dll.); lignin umumnya membuat produk menjadi lebih lemah, mudah terbakar pada pemrosesan dan mengeluarkan CO₂ dan gas-gas lain, membuat kerapatan produk lebih rendah, dan sangat mempercepat pematangan WPC setelah pencahayaan pada luar ruangan (outdoor). Zat ekstraktif kayu (terpena, pinena, tannin, senyawa karbonil, dll.) menghasilkan produk organik mudah menguap yang menjadikan kerapatan produk lebih rendah. Hemiselulosa mudah terdekomposisi pada temperatur leleh plastic, terutama pada perubahan tajam pada tekanan, dan membentuk asam asetat [1].

Material yang saat ini dikenal dengan WPC pertama kali muncul pada tahun 1960-an merupakan penggabungan pencetakan thermosetting. Lima periode perkembangan WPC dapat diidentifikasi sebagai berikut [1].

1. Perkembangan komposit termoset. Jenis material ini dikemukakan di sini karena masih disebut “komposit kayu” oleh sebagian orang. Pada kenyataannya, material ini sudah diketahui sebelum tahun 1960-an dan telah digunakan dalam industri setelah Perang Dunia II. Yang pertama, yaitu bakelit ditemukan pada awal era 1900-an dan ditambahkan serbuk kayu pada era 1920-an. Komposit kayu termoset menciptakan dasar untuk tampilan WPC.

2. Peralihan adhesive pada “komposit kayu” termoset menjadi termoplastik dan memperhatikan pencampuran yang merata dari serat selulosa dengan plastic.
3. Peningkatan sifat mekanik WPC. Tentunya, sifat-sifat lain dari WPC dianggap penting juga, namun sifat mekanik selalu dianggap sebagai sifat utama untuk material bangunan, seperti papan dek.
4. Peningkatan keterpaduan antara pengisi dan matriks polimer, dengan mengusahakan interaksi antara pengisi dan polimer, menggunakan zat penggabung.
5. Peningkatan sifat-sifat WPC selanjutnya dengan menggunakan plastik selain polietilena, misalnya polipropilena, polivinil klorida (PVC), dan akrilonitril-butadiena-stirena (ABS).

II.1.3 Interface (antarmuka) dan Interphase (antafasa) pada Komposit

II.1.3.1 Antarmuka

Definisi umum dari antarmuka pada komposit serat adalah sebuah permukaan yang terbentuk oleh suatu batas bersama antara serat penguat dan matriks yang bersentuhan dengan ikatan di antara keduanya dan mempertahankan ikatan tersebut terhadap transfer beban [5].

Ikatan yang terjadi pada antarmuka matriks dan serat terbentuk saat permukaan penguat telah terbasahi oleh matriks [6]. Antarmuka yang ada pada komposit berfungsi sebagai penerus beban antara matriks dan penguat [7]. Perilaku perpatahan pada komposit juga bergantung pada kekuatan antarmuka. Antarmuka yang bersifat lemah akan menghasilkan kekuatan dan kekakuan yang rendah. Sedangkan, antarmuka yang bersifat kuat akan menghasilkan kekuatan dan kekakuan yang tinggi [6].

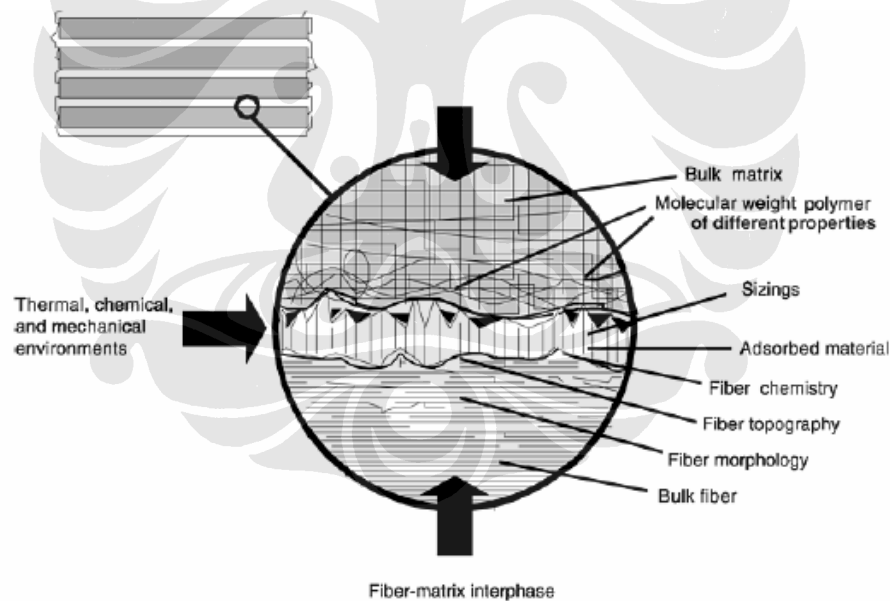
II.1.3.2 Antafasa

Konsep dua dimensi dari antarmuka lebih lanjut menjadi tiga dimensi yang sering disebut antafasa, yaitu fasa antar matriks dan serat dengan ketebalan tertentu di mana sifat fisik, kimia, dan morfologinya berbeda dari bagian terbesar material (*bulk material*)-nya.

Antafasa merupakan daerah dimana bagian dari matriks yang dipengaruhi oleh adanya penguat, sehingga dengan adanya penguat dengan sifat fisik dan

kimia yang dimilikinya akan merubah bentuk lokal dari matriks pada daerah antarfasa. Karena perubahan mikrostruktur seringkali mengakibatkan perubahan sifat mekanis, maka kehadiran antarfasa ini dapat memberikan pengaruh yang besar terhadap sifat dari komposit [8].

Ketika matriks dan permukaan serat saling bersentuhan, ikatan kimia dan fisika dapat terbentuk pada antarmuka. Gugus kimia permukaan penguat dapat bereaksi dengan gugus kimia yang ada pada matriks, yang dapat membentuk ikatan kimia maupun ikatan fisika; gaya Van der Waals, ikatan hidrogen, dan ikatan elektrostatik. Jenis dan banyaknya dari masing-masing ikatan tersebut secara kuat mempengaruhi daya ikat antara matriks – serat. Sifat fisik dan kimia yang dimiliki oleh penguat dapat merubah bentuk lokal dari matriks di dalam daerah antarfasa. Gambar 2.2, yang menunjukkan karakteristik yang berbeda dari masing-masing daerah yang ada.



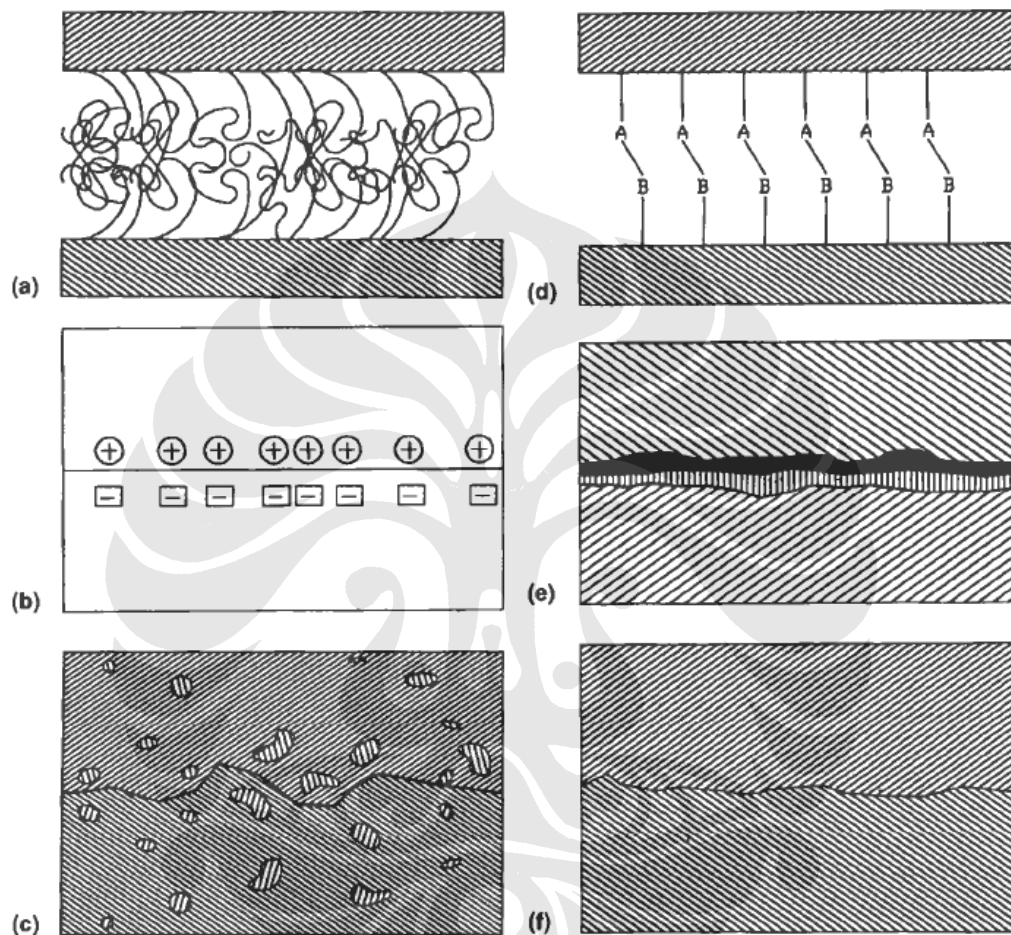
Gambar 2.2 Skematis dari antarfasa matriks – serat dan beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pembentukannya [7].

II.2 TEORI ADHESI DAN JENIS IKATAN

II.2.1 Umum

Sifat ikatan tidak hanya ditentukan pada penyusunan atom, kesesuaian molekuler, dan sifat kimia dari serat dan matriks, tetapi juga pada sifat morfologi

dari serat dan difusivitas dari tiap konstituen. Adhesi pada umumnya dapat dihubungkan dengan berbagai mekanisme (namun tidak dibatasi) adsorpsi dan pembasahan, gaya tarik elektrostatis, ikatan kimia, ikatan reaksi, dan ikatan reaksi pertukaran. Gambar 2.3 secara skematis memperlihatkan jenis ikatan [5].



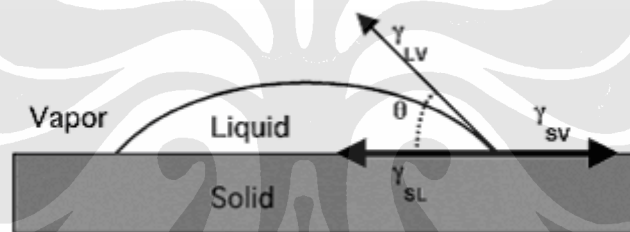
Gambar 2.3 Ikatan antarmuka yang terbentuk melalui (a) penjeratan molekuler; (b) gaya tarik elektrostatis; (c) interdifusi elemen-elemen; (d) reaksi kimia antara gugus A pada satu permukaan dan gugus B pada permukaan lain; (e) reaksi kimia yang melibatkan pembentukan senyawa baru, terutama pada komposit bermatriks logam; (f) penguncian mekanik (mechanical interlocking) [5].

II.2.2 Mampu Basah

Ikatan antarmuka terjadi karena adanya gaya adhesi antara matriks dan serat. Agar adhesi terjadi selama pembentukan komposit, maka matriks dan penguat harus dalam keadaan kontak yang baik sekali [6]. Beberapa tahap fabrikasi komposit, seringkali matriks berada dalam kondisi dapat mengalir dan perilakunya mendekati perilaku cairan. Hal yang paling berpengaruh dalam hal ini adalah kemampubasahan

(*wettability*). Kemampubasahan di sini adalah kemampuan matriks pada saat dapat mengalir untuk tersebar merata ke permukaan suatu padatan, dalam hal ini serat. Jika matriks memiliki kemampubasahan yang sangat baik, maka matriks tersebut dapat menutupi seluruh kontur pada permukaan yang kasar pada serat tanpa meninggalkan lubang maupun rongga udara.

Pada permukaan benda padat, saat setetes cairan jatuh, maka akan terjadi kesetimbangan energi permukaan (γ) pada kontak antara keduanya. Energi permukaan yang terlibat (Gambar 2.4), antara lain energi permukaan padat-cair (γ_{sl}), padat - gas (γ_{sv}) dan cair-gas (γ_{lv}). Agar terjadi pembasahan maka harus ada pengurangan energi permukaan [6]. Jika γ_{sl} besar maka cairan membentuk tetesan dengan luas permukaan kecil sedangkan jika γ_{sv} besar tetesan akan tersebar merata pada permukaan [7].



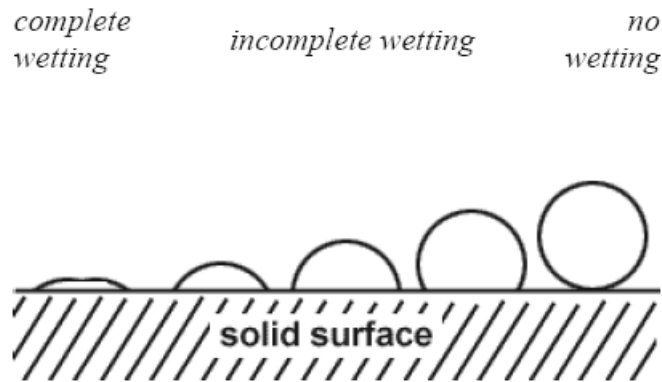
Gambar 2.4 Sudut kontak θ , dan energi permukaan γ_{sl} , γ_{sv} , dan γ_{lv} tetes cairan pada permukaan padat [5].

Kesetimbangan energi pada sistem disajikan dalam persamaan Young [6,7]:

$$\gamma_{sl} - \gamma_{sv} + \gamma_{lv} \cos \theta = 0 \quad (2.1)$$

Sudut θ merupakan indikator kemampubasahan. Besar sudut θ berada di antara $0^\circ - 180^\circ$. Apabila sudut θ kurang dari 90° , maka dapat dikatakan terjadi pembasahan. Sedangkan apabila sudut θ lebih dari 90° , maka tidak terjadi pembasahan sempurna (Gambar 2.5). Parameter lain yang digunakan untuk mengukur kemampubasahan adalah koefisien penyebaran (*spreading coefficient/SC*) [9]. Pembasahan terjadi apabila nilai SC adalah positif. SC dirumuskan sebagai berikut :

$$SC = \gamma_{sv} - (\gamma_{sl} + \gamma_{lv}) \quad (2.2)$$



Gambar 2.5 Kemampuan pembasahan berdasarkan besarnya sudut kontak θ [10].

II.3 POLIMER

II.3.1 Umum

Polimer adalah molekul besar yang memiliki rantai panjang. Kata ‘polimer’ dan ‘makromolekul’ sering dianggap sama. Namun, kata ‘makromolekul’ hanya merepresentasikan sebuah molekul besar, sedangkan polimer adalah suatu molekul besar yang didasarkan atas pengulangan unit, yang mana unit-unit tersebut saling berikatan secara kovalen. Unit berulang pada polimer disebut dengan mer, bentuk awalnya berasal dari suatu molekul tunggal sederhana yang disebut monomer. Suatu polimer bisa terbentuk dari satu atau lebih jenis monomer.

Secara umum material polimer dapat dibagi menjadi tiga kelompok besar yaitu termoplastik, termoset, dan elastomer. Termoplastik adalah polimer yang dapat melunak kembali dengan pemanasan, sedangkan termoset adalah polimer yang setelah dibentuk menjadi kaku tidak akan kembali melunak dengan pemanasan, dan elastomer adalah polimer yang mirip dengan termoset namun masih bersifat lentur.

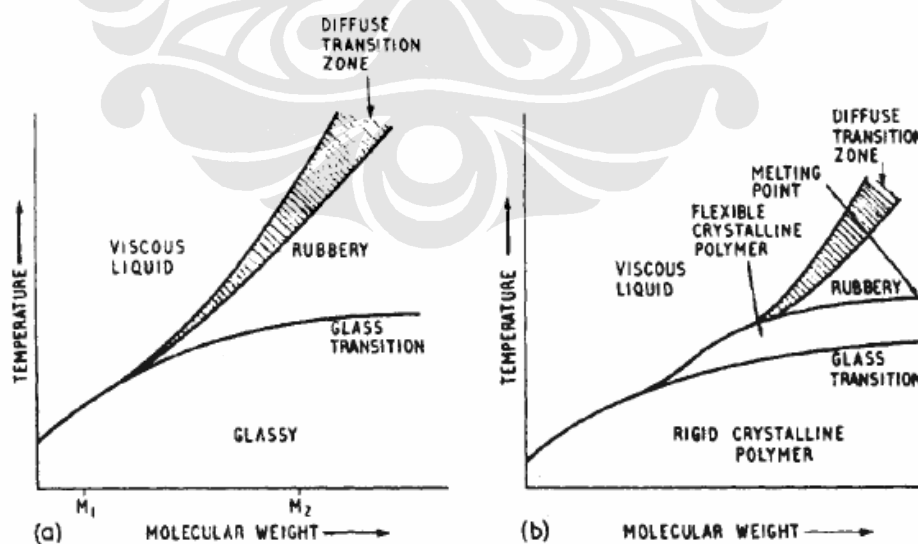
II.3.2 Temperatur Transisi pada Polimer Termoplastik

Temperatur transisi adalah titik di mana pada temperatur tersebut suatu materi akan berubah fasanya secara makroskopik dan melibatkan panas laten. Polimer dengan struktur amorf memiliki satu temperatur transisi, yaitu temperatur

transisi gelas (T_g), polimer dengan struktur kristalin juga mempunyai satu temperatur transisi, yaitu temperatur leleh (T_m), sedangkan polimer semikristalin mempunyai dua temperatur transisi yaitu T_g dan T_m [11].

T_g merupakan temperatur transisi antara fasa kaku (*rigid*) dengan fasa fleksibel/kekaretan (*rubbery*). Sedangkan T_m merupakan temperatur transisi antara fasa kekaretan dengan fasa *viscous liquid* (lelehan kental). Di atas temperatur transisi, molekul polimer mempunyai energi untuk melakukan pergerakan antar segmen [12].

Polimer amorf yang hanya mempunyai temperatur transisi gelas dan tidak memiliki temperatur leleh bukan berarti tidak dapat berubah fasa menjadi lelehan kental. Polimer amorf yang bersifat termoplastik tetap dapat menjadi fasa lelehan kental (Gambar 2.6), namun transisi dari fasa kekaretan menuju fasa lelehan kentalnya tidak dapat dideteksi secara pasti karena tidak melibatkan energi laten spesifik seperti temperatur transisi pada umumnya. Energi laten spesifik adalah energi yang diserap atau dilepas saat titik transisi tanpa merubah temperatur materi untuk setiap satuan massa materi tersebut, mulai dari saat berubah fasa sampai pada keadaan berubah keseluruhan. Itulah sebabnya polimer amorf dianggap tidak memiliki temperatur leleh.

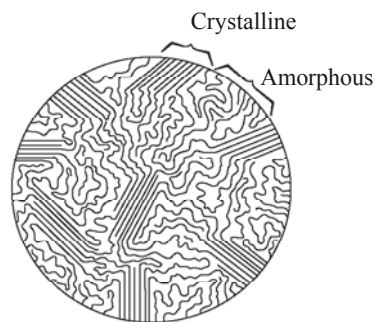


Gambar 2.6 Grafik berat molekul-temperatur a) polimer amorphous b) polimer kristalin (semikristalin) [12].

II.3.3 Temperatur Kristalisasi dan Kristalinitas pada Polimer Semikristalin

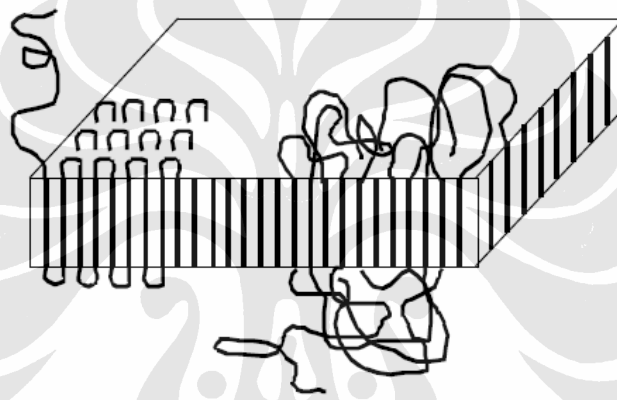
Temperatur kristalisasi (T_c) adalah temperatur di mana molekul polimer mulai menyusun diri membentuk suatu susunan molekul yang teratur (kisi kristal) dan melibatkan energi laten, biasanya melepaskan panas (eksotermis). Walaupun melibatkan energi laten, temperatur kristalisasi bukan merupakan temperatur transisi, sebab temperatur kristalisasi bukan merupakan temperatur peralihan perubahan fasa yang makroskopik dan hanya teramati pada saat pendinginan [11]. Kristalisasi pada polimer semikristalin hanya terjadi pada saat pendinginan, mulai dari temperatur kristalisasi dan akan berhenti apabila inti kristal saling bersentuhan satu sama lain atau apabila kondisi temperatur berada di bawah temperatur transisi gelas. Pada polimer semikristalin, temperatur kristalisasi terdapat di antara temperatur leleh dan temperatur transisi gelas. Kristalisasi tidak akan terjadi pada temperatur di bawah temperatur transisi gelas atau di atas temperatur leleh [13].

Salah satu jenis polimer semikristalin adalah polipropilena (PP). PP dapat membentuk kristal apabila memiliki kemampuan untuk menyusun molekul untuk membentuk suatu keteraturan. Sifat struktur molekul PP yang linier dan isotaktik dapat membentuk struktur kristalin karena memiliki kemampuan untuk tersusun secara teratur. Sedangkan, struktur ataktik atau cabang mempunyai kecenderungan membentuk struktur amorfus. PP pada umumnya memiliki lebih banyak struktur molekul isotaktik daripada ataktik, sehingga cenderung membentuk struktur semikristalin. Gambar 2.7 memperlihatkan ilustrasi bagian kristalin dan bagian amorfus dalam dua dimensi pada molekul polimer.

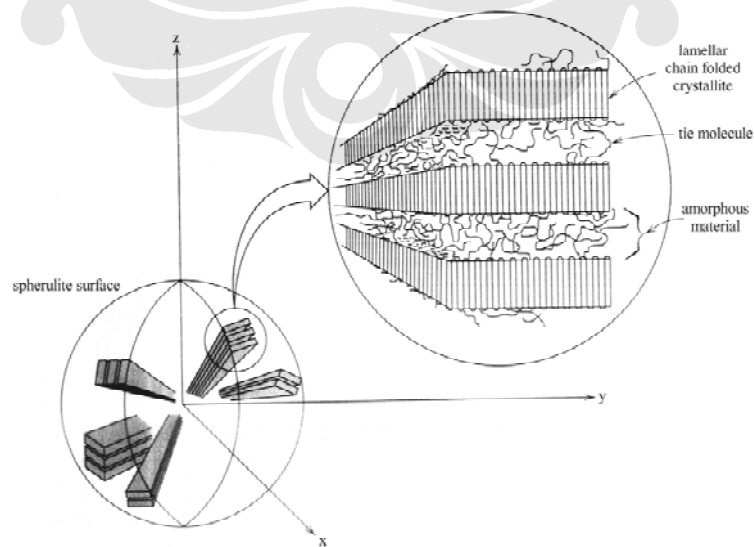


Gambar 2.7 Model *fringed micelle* dari distribusi acak bagian kristalin dan bagian amorfus pada polimer semikristalin [14].

Inti kristal terbentuk ketika beberapa segmen molekul polimer mengatur diri pada arah yang sama dan membentuk kisi secara beraturan. Pembentukan inti kristal ini mulai terjadi pada temperatur kristalisasi. Mulai dari pembentukan inti, selanjutnya kristal tumbuh membentuk lamela atau lembaran-lembaran yang terdiri dari struktur kristalin dan amorfus. Lamela merupakan molekul polimer dengan rantai terlipat (*folded-chain*) yang teratur (dapat dilihat pada Gambar 2.8). Lamela akan tumbuh terus-menerus dengan arah pertumbuhan yang beragam sehingga membentuk struktur *spherulite* (Gambar 2.9).

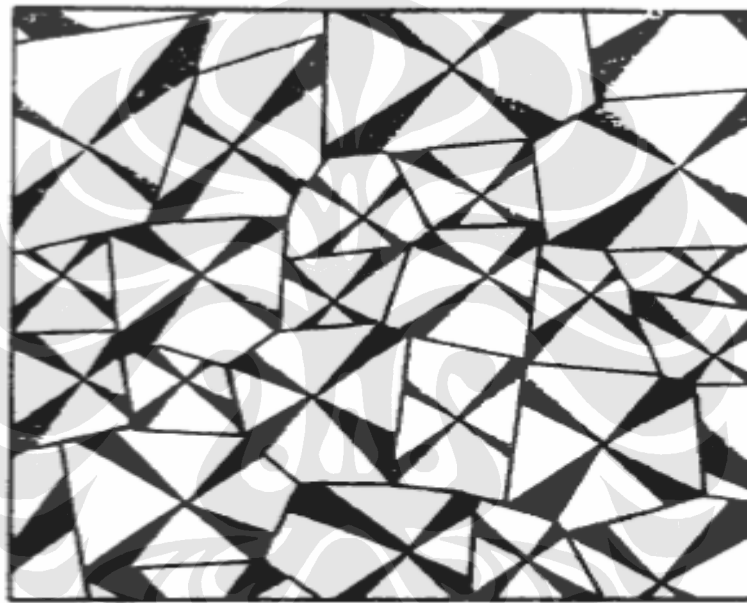


Gambar 2.8 Lamela dengan susunan molekul polimer *folded-chain* yang teratur/kristalin(di sebelah kiri) dan yang tidak teratur/amorf (di sebelah kanan) [15].



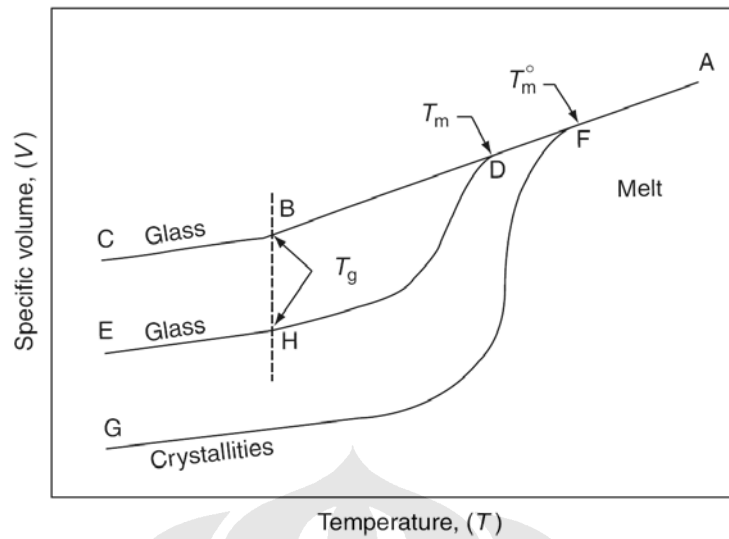
Gambar 2.9 Pertumbuhan lamela dengan arah tumbuh yang beragam membentuk *spherulite* [14].

Molekul polimer yang memiliki *spherulite* yang berukuran besar akan mempunyai sifat yang berbeda dengan molekul polimer yang memiliki *spherulite* ukuran kecil. Salah satu perbedaan sifat yang dipengaruhi ukuran *spherulite* adalah sifat optik. Pada umumnya PP bersifat *opaque* (tak tembus cahaya) karena adanya perbedaan indeks refraksi antara bagian kristalin dengan amorf, sehingga cahaya dihamburkan, namun jika ukuran *spherulite* lebih kecil daripada panjang gelombang cahaya, maka cahaya tidak akan terhambur dan polimer bersifat transparan [12].

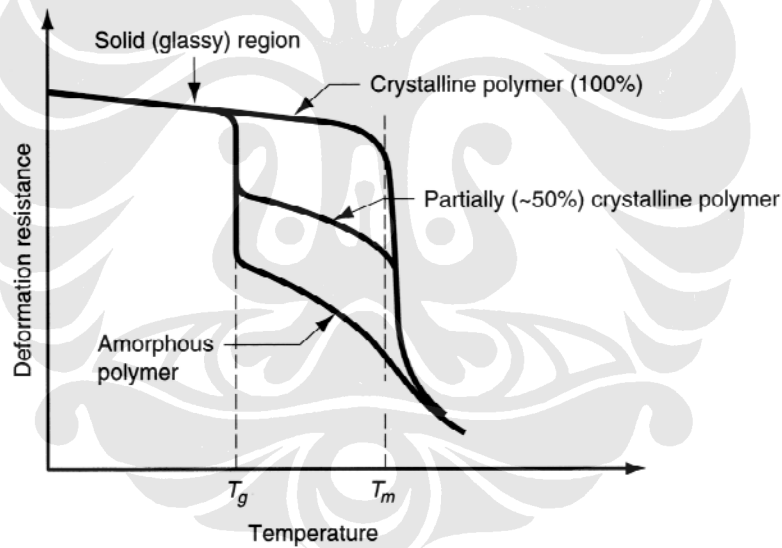


Gambar 2.10 Struktur *spherulite* di bawah mikroskop [16].

Kristalinitas pada polimer juga memberikan pengaruh yang besar terhadap sifat mekanik. Fasa kristalin pada polimer memberikan kepadatan, kekuatan, kekakuan, dan kekerasan, namun di sisi lain fasa kristalin juga menyebabkan polimer menjadi lebih getas [14]. Selain itu, kristalinitas juga memberikan pengaruh terhadap ketahanan deformasi terhadap temperatur. Gambar 2.11 menunjukkan pengaruh besar kristalinitas pada perubahan volume spesifik temperatur dan Gambar 2.12 menunjukkan pengaruh besar kristalinitas pada ketahanan deformasi terhadap temperatur.



Gambar 2.11 Representatif skematik dari perubahan volume spesifik dari polimer terhadap temperatur untuk polimer amorf (C–B–A), polimer semikristalin (E–H–D–A), dan polimer kristalin sempurna (G–F–A) [17].



Gambar 2.12 Hubungan sifat mekanik, hubungan ketahanan deformasi terhadap temperatur untuk termoplastik amorfus, semikristalin, dan 100% kristalin (teoritis) [18].

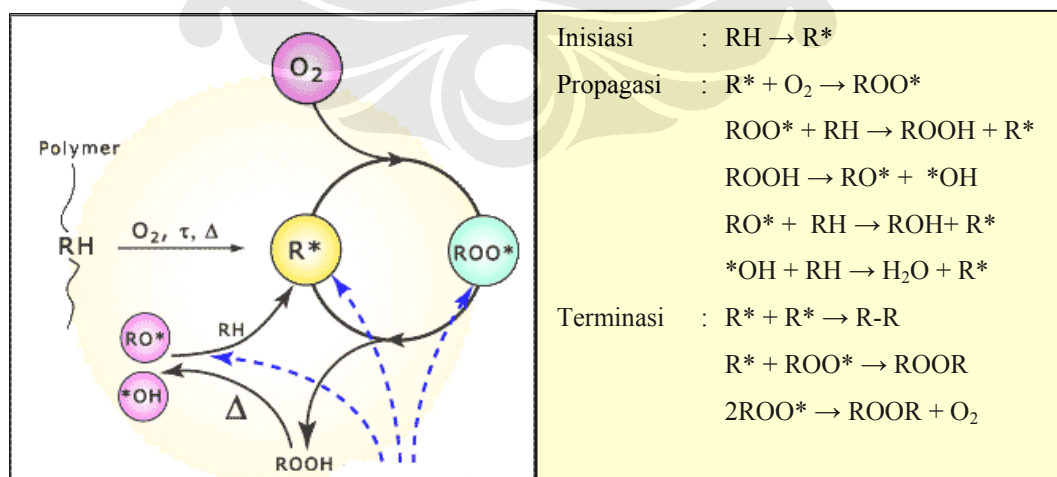
II.3.4 Degradasi pada Polimer

Secara umum, kualitas polimer akan terus-menerus menurun akibat pengaruh lingkungan maupun penggunaan. Proses perusakan tersebut disebut dengan degradasi. Degradasi pada polimer menyebabkan pemutusan rantai molekul polimer akibat pengaruh berbagai macam penyebab, seperti cahaya,

panas, zat kimia, dan atmosfer, juga bisa disebabkan oleh sisa katalis, serta tegangan sisa setelah proses [19].

Rantai molekul yang telah mengalami degradasi akan mengalami oksidasi dengan sendirinya (auto-oksidasi) membentuk radikal peroksida, kemudian radikal ini akan merusak rantai molekul lainnya, sehingga proses perusakan akan terus-menerus terjadi dengan sendirinya (auto-degradasi). Material polimer yang telah mengalami degradasi umumnya dapat teramati dengan adanya perubahan warna, berkurangnya kekilapan dan kejernihan, menurunnya kekuatan dan kekakuan, juga fleksibilitas [19].

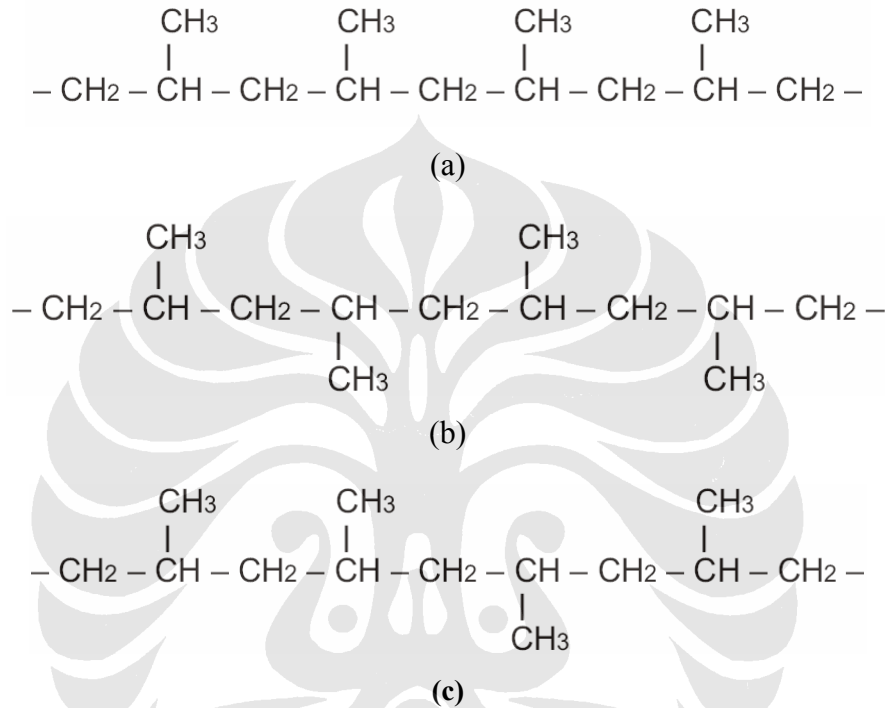
Degradasi diawali dengan tahap inisiasi, dimana pada tahap ini terbentuk radikal dari rantai polimer yang disebabkan oleh cahaya, panas, zat kimia, atau lainnya. Radikal ini akan bereaksi dengan oksigen membentuk peroksida rantai polimer radikal. Selanjutnya tahap propagasi dimana peroksida rantai polimer radikal merusak rantai polimer lainnya yang belum bersifat radikal (inilah yang dimaksud dengan auto-degradasi) atau menjadi rantai polimer hidroperoksida dan terpecah menjadi alkoksi radikal dan hidroksida radikal yang kemudian juga akan menyebabkan autodegradasi. Tahap terakhir adalah terminasi atau tahap pengakhiran dari reaksi degradasi, terjadi apabila sesama radikal rantai polimer saling bertemu, sehingga proses perusakan rantai molekul berakhir. Gambar 2.13 memperlihatkan siklus degradasi tersebut.



Gambar 2.131 Siklus degradasi polimer dan reaksi-reaksi yang terjadi pada saat terjadinya degradasi [19]. (keterangan: R = rantai polimer; * = radikal; -OH : hidroksida; -OO- : peroksida; -OOH : hidropeksida; -OR : alkoksi)

IV.4 POLIPROPILENA

Polipropilena (PP) adalah suatu jenis polimer termoplastik yang dapat melunak jika dipanaskan, berasal dari polimerisasi monomer propilena. Berdasarkan keberadaan gugus metilnya, rantai molekul PP dapat berupa rantai molekul isotaktik, sindiotaktik, atau ataktik (Gambar 2.14).



Gambar 1.14 Taktisitas PP, (a) isotaktik : gugus-gugus metilnya berada pada satu sisi rantai molekul; (b) sindiotaktik : gugus-gugus metilnya berada pada kedua sisi rantai polimer secara selang-seling; dan (c) ataktik : gugus-gugus metilnya berada pada sisi yang tidak tentu dan acak.

PP untuk penggunaan komersial umumnya dibuat dengan katalis yang dapat menghasilkan rantai polimer yang bisat terkrystalisasi yang menyebabkan PP menjadi padatan semikristalin dengan sifat-sifat fisik, mekanik, dan termal yang baik [20]. PP dengan isotaktik yang tinggi memiliki sifat-sifat fisik, mekanik, dan termal yang diinginkan pada keadaan padat; PP ataktik adalah material lunak, lengket, seperti getah yang umumnya digunakan pada penempel, dempul (*caulk*), dan aplikasi lain yang membutuhkan kelengketan; sedangkan PP sindiotaktik merupakan material yang jarang digunakan secara komersial dan memiliki kristalinitas jauh lebih kecil daripada PP isotaktik [20].

Berikut ini adalah tabel sifat-sifat umum PP yang dijual secara komersial.

Tabel 2.1 Sifat-sifat PP yang dijual secara komersial [13,21].

Sifat	Nilai
Kekuatan tarik	31 - 38 MPa
Modulus fleksural	1,170 - 1,730 MPa
Berat jenis	0.89 - 0.92 g/cm ³
Heat distorsion temperature, 455 kPa	107 - 121 °C
Temperatur transisi gelas	-35 to 26 °C
Temperatur leleh	160 - 170 °C
Mold shrinkage	0.015-0.025 cm/cm

II.5 KAYU KARET

Karet yang digunakan sekarang ini umumnya merupakan karet sintetik yang bahan bakunya berasal berasal dari minyak bumi, tetapi karet alami masih diproduksi dalam angka beberapa juta ton setiap tahun, sehingga pohon karet masih banyak ditanam.

Karet merupakan produk dari proses penggumpalan getah (lateks) pohon karet. Pohon karet normal mulai diambil lateksnya pada tahun kelima setelah penanaman. 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 ditebang dan dijadikan sebagai sumber bahan baku pabrik pengolahan kayu karet, sebagai kayu bahan bangunan rumah, kayu api, arang, maupun kayu gergajian untuk alat rumah tangga dan sebagai kayu bakar dan sebagian lainnya terbengkalai [22].

Pohon karet termasuk dalam sub divisi angiospermae (tumbuhan berbiji tertutup). Oleh karena itu, kayu dari pohon karet termasuk ke dalam kelompok kayu keras yang memiliki sifat-sifat kimia dan fisika kayu keras. Berikut ini tabel yang menunjukkan taksonomi botani pohon karet.

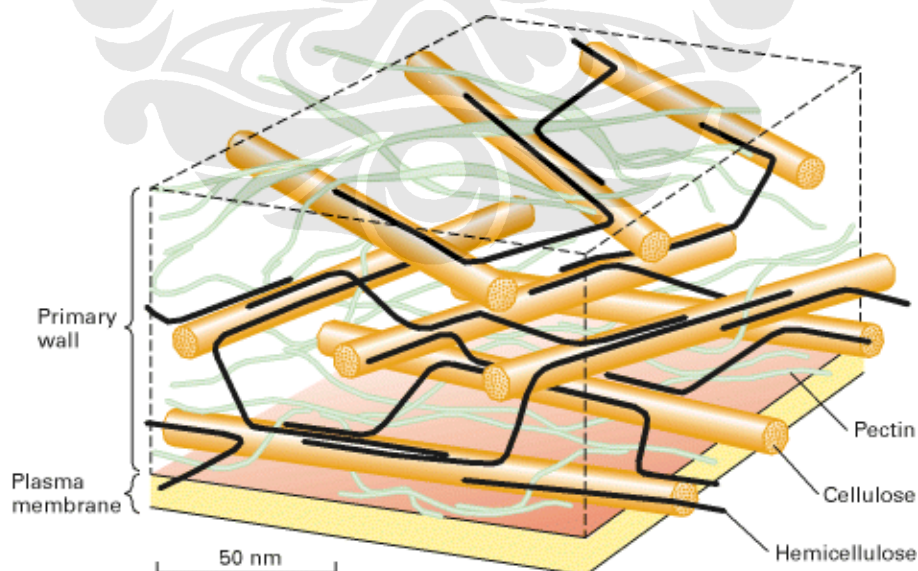
Tabel 2.2 Taksonomi pohon karet [22].

Tingkat takson	Nama Latin
Divisi	Spermatophyta
Sub divisi	Angiospermae
Kelas	Dicotyledonae
Keluarga	Euphorbiaceae
Genus	Hevea
Spesies	Hevea brasiliensis

Salah satu sifat fisik kayu karet yang penting adalah berat jenis atau kerapatan. Kerapatan kayu karet berkisar antara 0.62–0.65 g/cm [23]. Nilai penyusutan kayu karet sangat kecil, hanya sedikit lebih kecil dari kayu jati. Nilai penyusutan kayu karet dari basah sampai kering arah radialnya dan tangensialnya adalah 1.77–3.05% [24].

II.5.1 Komposisi Kimia Kayu Karet

Komposisi kimia yang penting pada kayu karet adalah holoselulosa, lignin, dan ekstraktif. Hasil penelitian Boerhendhy *et al.* (2001) [24] menunjukkan bahwa kadar holoselulosa 67.38%, kadar lignin 20.68%, rendah dibandingkan dengan kayu yang umum digunakan untuk bahan baku *pulp* (bubur kertas), yaitu sebesar 26.72%, dan kadar ekstraktif 4,58%.

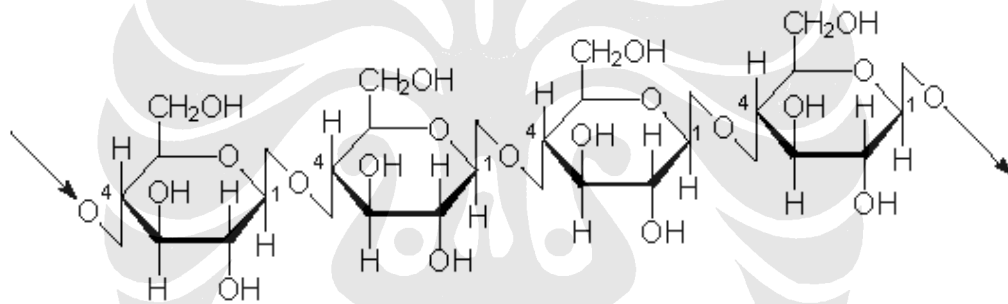


Gambar 2.15 Struktur dinding sel kayu yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan pektin, dengan pengikat lignin [25].

II.5.1.1 Holoselulosa

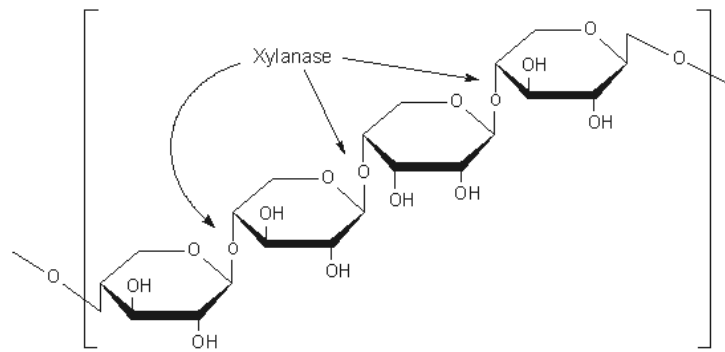
Karbohidrat yang paling banyak terdapat pada kayu adalah campuran dari polimer-polimer selulosa dan hemiselulosa dengan kandungan polimer gula (polisakarida) lain, seperti pektin [26]. Kombinasi dari selulosa (40-45%) dan hemiselulosa (15-25%) disebut holoselulosa dan biasanya berjumlah 65-70% dari berat kering kayu [26].

Kadar selulosa pada kayu beragam sekitar 40% sampai 50% [27]. Derajat polimerisasi (DP) dari molekul selulosa yang telah diketahui sekitar 10^4 pada kayu (ini menunjukkan bahwa makromolekul selulosa memiliki panjang sekitar satu mikron) [27]. Selulosa merupakan homopolimer linier yang terdiri dari unit d-glukopiranososa (disebut juga anhidroglukosa) yang terikat oleh ikatan β -(1 \rightarrow 4) glikosidat [28].



Gambar 2.16 Rantai molekul selulosa [29].

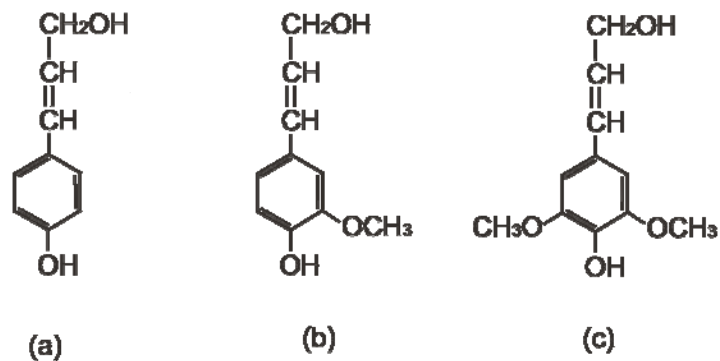
Komponen holoselulosa lainnya, yaitu hemiselulosa. Literatur [27] menjelaskan bahwa hemiselulosa adalah polisakarida, sama seperti selulosa, tetapi terdiri dari unit-unit gula yang berbeda. DP dari hemiselulosa sekitar 200 sampai 300. Perbedaan lain dengan selulosa, yaitu ada sebagian kadar OH yang terasetilasi secara alami, dan juga ada gugus karboksilat yang terdapat pada struktur. Tidak sama dengan selulosa, rantai utama struktur hemiselulosa mempunyai cabang pendek dari unit-unit gula. Hemiselulosa membentuk ikatan hidrogen dengan permukaan mikrofibril dan ikatan kovalen dengan matriks lignin.



Gambar 2.17 Struktur molekul xylan, suatu jenis hemiselulosa yang merupakan polimer dari unit-unit β -(1 \rightarrow 4)-D-xylopiranosil [46].

II.5.1.2 Lignin

Lignin adalah polimer fenolik yang sangat amorf dengan berat molekul sedang. Lignifikasi dari dinding sel kayu melibatkan difusi unit-unit monomer fenilpropana dan polimerisasi, sehingga menghasilkan jaringan acak tiga dimensi melalui mekanisme radikal bebas. Karena sifat acak dari reaksi polimerisasi, tidak ada struktur tetap pada lignin. Sebagaimana dengan semua struktur, representasi dua dimensi tidak memberikan gambaran jelas mengenai kompleksitas struktur sebenarnya. Sifat acak jaringan polimer lignin adalah faktor utama yang menentukan geometri kompleks pori-pori mikrodinding sel. Lignin menyebabkan kekakuan pada bagian tengah lamella. Walaupun lignin relatif kaku pada temperatur ruang, lignin mengalami transisi gelas pada sekitar 140°C dan adanya kelembaban di dalam dinding sel selanjutnya menjadi sebagai pem-plastisasi pada jaringan lignin. Lignin memiliki konsentrasi gugus OH yang rendah dibandingkan dengan polisakarida [27].



Gambar 2.18 Struktur kimia dari prekursor lignin: (a) p-coumaril alkohol, (b) coniferil alkohol, dan (c) sinapil alkohol [27].

Shafizadeh [4] mengatakan polimer selulosa lebih stabil terhadap degradasi termal sampai sekitar 370°C dan kemudian terdekomposisi sempurna pada jangkauan temperatur yang sangat kecil. Sedangkan lignin mulai terdekomposisi sekitar 200°C, tetapi lebih stabil terhadap degradasi termal dibandingkan dengan polimer karbohidrat.

II.6 PROMOTOR ADHESI

Seperti dijelaskan sebelumnya, bahwa antarmuka pada komposit serat berfungsi sebagai penerus beban antara matriks dan serat [7]. Oleh karena itu, maka matriks dan penguat harus dalam keadaan kontak yang baik sekali [6]. Kontak yang baik terjadi apabila seluruh bagian serat terbasahi dengan oleh matriks. Pembasahan dapat terjadi apabila perbedaan energi permukaan antara pengisi dan matriks relatif kecil [7]. Besar energi permukaan itu sendiri dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya kepolaran.

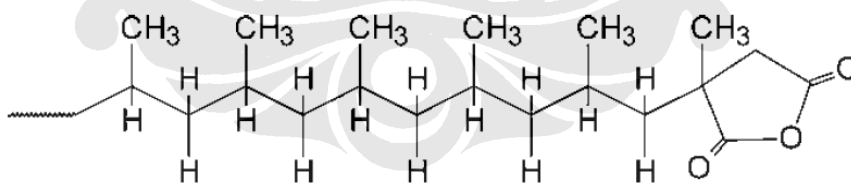
Seperti poliolefin pada umumnya, polipropilena (PP) yang belum mengalami perlakuan tertentu memiliki energi permukaan yang relatif rendah karena sifatnya yang nonpolar [20]. Sedangkan kebanyakan bahan yang digunakan sebagai penguat komposit, seperti serat baja, serat gelas, dan serbuk kayu, memiliki kepolaran yang tinggi, sehingga tegangan permukaannya tinggi. Apabila PP akan dijadikan komposit dengan bahan penguat yang disebut di atas, tentunya tidak akan terbentuk komposit yang baik karena tidak dapat terjadi pembasahan yang baik.

Promotor adhesi diperlukan untuk memperbaiki sifat mampu basah pada komposit yang terdiri dari konstituen-konstituen yang berbeda tingkat tegangan permukaannya. Promotor adhesi adalah zat yang dapat menyatukan komponen-komponen yang tidak saling bergabung dengan cara menjadi penghubung di antara komponen-komponen tersebut [30]. Promotor adhesi umumnya disebut dengan istilah sesuai dengan aplikasinya. Apabila promotor adhesi digunakan untuk meningkatkan keterpaduan (*compatibility*) pada pencampuran dua macam polimer yang tidak saling melarutkan (*immiscible*), maka disebut pemadu (*compatibilizer*). Apabila promotor adhesi digunakan untuk meningkatkan adhesi antara sistem polimerik dan pengisi, maka disebut zat penggabung (*coupling agent*) [30].

Salah satu promotor adhesi yang paling umum digunakan untuk PP adalah kopolimer cangkok propilena - anhidrida maleat karena misibilitasnya yang sangat baik terhadap molekul PP dan juga dapat bereaksi dengan gugus hidroksil ($-OH$) membentuk ikatan ester dan bereaksi dengan gugus amina ($-NH_2$) ikatan amida, juga mampu berikatan hidrogen pada beberapa gugus kimia dari konstituen pengisi [30,31,32], sehingga dapat membentuk ikatan antarmuka antara matriks PP dan pengisi yang bersifat polar.

II.6.1 Kopolimer Cangkok Propilena-Anhidrida Maleat sebagai Promotor Adhesi

Kopolimer cangkok propilena - anhidrida maleat (*propylene - maleic anhydride graft copolymer*, pada beberapa literatur disebut juga MAPP atau PPMA. Pada skripsi ini selanjutnya disebut PP-g-MA) adalah senyawa polimer turunan polipropilena (PP) yang rantainya tercangkok oleh molekul anhidrida maleat (*maleic anhydride*, selanjutnya disebut MA). Molekul MA yang tercangkok pada PP-g-MA bisa pada satu bagian, bisa juga tercangkok pada banyak bagian, tergantung dari reaksi pencangkokannya [20]. Apabila MA telah tercangkok, maka atom karbon tersebut menjadi atom karbon kuarterner (mengikat empat atom karbon lain).

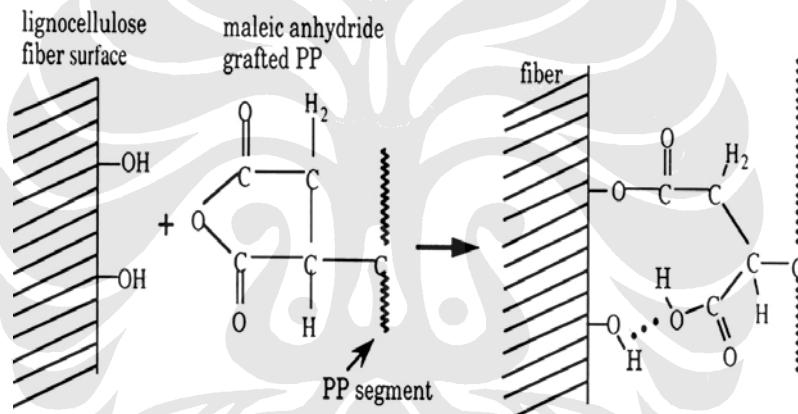


Gambar 2.19 Struktur kimia salah satu jenis molekul PP-g-MA, yang molekul-anhidrida-maleat-nya tercangkok pada ujung rantai PP-nya [20].

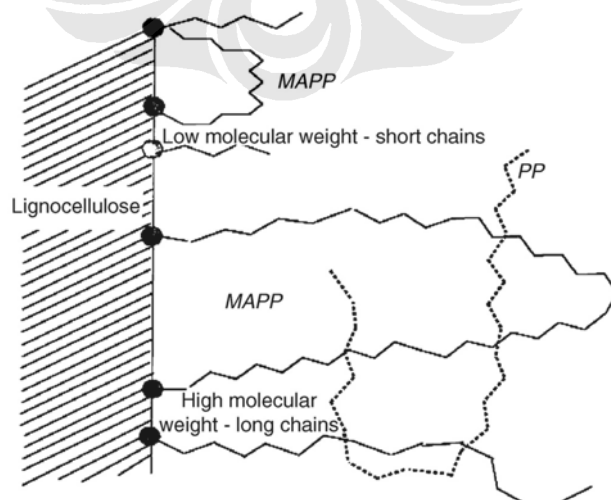
PP-g-MA yang paling banyak digunakan pada komposit bermatriks PP adalah dalam bentuk wax (kelilin-lilinan) karena misibilitas (*miscibility*)-nya sangat yang baik terhadap PP. Wax PP-g-MA mempunyai kekentalan yang rendah pada saat leleh, sehingga fleksibilitasnya tinggi dan lebih agresif mengikat matriks polipropilena [33]. Pada referensi lain, dikatakan bahwa yang PP-g-MA yang

paling banyak digunakan memiliki nomor berat molekul rata-rata 20,000, berat rata-rata berat molekul 40,000 dan memiliki sekitar 6% berat MA pada polimer [26].

Kemampuan PP-g-MA berikatan dengan gugus hidroksil, menjadikannya paling banyak digunakan sebagai zat penggabun pada komposit termoplastik - serbuk kayu. PP-g-MA dapat berikatan dengan lignin dan selulosa, senyawa kimia utama pada kayu. Gugus anhidrida pada PP-g-MA sangat reaktif terhadap gugus hidroksil yang terdapat pada lignin dan selulosa, sehingga akan terjadi pembukaan cincin (*opening ring*) MA yang selanjutnya membentuk ikatan ester dengan lignin atau selulosa, juga membentuk gugus asam yang berikatan hidrogen dengan gugus hidroksil lainnya pada lignin atau selulosa [26].



Gambar 2.20 Reaksi antara gugus anhidrida pada PP-g-MA dengan gugus hidroksil pada permukaan kayu [26].



Gambar 2.21 Penjeratan segmen PP dari PP-g-MA dengan matriks PP [26].