

Gambaran Umum tentang Polimer

Dr. Galuh Yuliani, M.Si.



PENDAHULUAN

Modul ini merupakan modul pertama dari mata kuliah Kimia Polimer. Modul ini berisi tentang gambaran umum polimer, yaitu pengertian, tata nama, dan sifat-sifat polimer. Modul ini terdiri atas dua kegiatan belajar. Kegiatan Belajar 1 tentang pengertian, bentuk-bentuk, serta penggunaan dan manfaat polimer dalam kehidupan. Sementara itu, Kegiatan Belajar 2 tentang klasifikasi dan tata nama polimer.

Secara umum, setelah mempelajari Modul 1 ini, Anda diharapkan dapat menjelaskan gambaran umum tentang polimer.

Secara lebih khusus, setelah mempelajari Modul 1 ini, Anda diharapkan dapat:

1. mendefinisikan pengertian polimer;
2. menyebutkan tiga kelompok besar polimer yang umum digunakan dalam kehidupan;
3. menyebutkan sifat-sifat tiga kelompok besar polimer berdasarkan kegunaannya;
4. memberikan contoh manfaat polimer dalam kehidupan;
5. menyebutkan jenis reaksi pembentukan polimer;
6. menyebutkan contoh polimer adisi;
7. menyebutkan contoh polimer kondensasi;
8. menyebutkan jenis-jenis polimer berdasarkan asal atau sumbernya;
9. menyebutkan jenis-jenis polimer berdasarkan strukturnya;
10. menyebutkan jenis-jenis polimer berdasarkan sifat kristalinitasnya;
11. menyebutkan perbedaan jenis-jenis polimer yang diklasifikasikan berdasarkan sifat termalnya;
12. menyebutkan nama polimer yang terbentuk jika diketahui monomernya;
13. menyebutkan nama polimer jika diketahui struktur molekulnya.

Agar Anda berhasil dengan baik mempelajari modul ini, Anda dianjurkan untuk membaca kembali modul mata kuliah Kimia Organik, terutama tentang penggambaran struktur senyawa organik, reaksi-reaksi senyawa organik, dan kimia fisik, terutama tentang sifat-sifat fisik senyawa.

Mempelajari kimia polimer akan sangat menarik bagi Anda karena sesungguhnya polimer sangat dekat dengan kehidupan kita sehari-hari.

Selamat mempelajari modul ini.

KEGIATAN BELAJAR 1

Pengertian, Contoh Penggunaan, dan Manfaat Polimer dalam Kehidupan

Pengetahuan yang dimiliki manusia terus berkembang seiring dengan perkembangan zaman. Perkembangan ilmu pengetahuan manusia mendorong dihasilkannya teknologi-teknologi baru. Satu hal yang tidak dapat dilepaskan dari perkembangan teknologi baru adalah material-material baru yang ikut menunjang perkembangan teknologi tersebut.

Material yang pertama kali dimanfaatkan oleh manusia pada zaman purbakala adalah batu. Pada masa tersebut, manusia membuat sebagian besar peralatan yang diperlukan untuk menunjang kehidupannya dari batu-batuan. Contoh produk peninggalan zaman purbakala adalah perkakas dan monumen yang terbuat dari batu (Gambar 1.1a).

Pada abad pertengahan, manusia mulai mengenal besi dan perunggu. Abad pertengahan ini kemudian disebut sebagai zaman logam. Penggunaan logam telah mengubah cara hidup manusia abad pertengahan. Pada masa ini, peralatan rumah tangga dan perkakas dibuat dari logam (Gambar 1.1b). Beragam alat berbahan dasar besi tempa dan paduan logam berkembang pesat. Contoh peninggalan abad pertengahan adalah koin-koin hingga peralatan perang, seperti pedang dan baju besi.

Pada perkembangan berikutnya, manusia modern mulai beralih dari logam dan mulai mengembangkan material baru, yaitu plastik. Penggunaan plastik dan polimer pada umumnya di berbagai kehidupan manusia modern telah begitu luas dan aplikasinya terus meningkat secara eksponensial. Tidak terlalu berlebihan kiranya apabila kita katakan masa sekarang sebagai abad polimer



(a)



(b)

Gambar 1.1

Perkakas Peninggalan Zaman Batu dan Zaman Logam

A. PENGERTIAN POLIMER

Sesungguhnya senyawa polimer itu sendiri telah sejak lama terdapat secara melimpah di alam. Namun, istilah polimer baru dimunculkan pada abad ke-19. Sebelum awal 1920-an, ahli-ahli kimia meragukan keberadaan molekul-molekul yang memiliki berat molekul lebih dari beberapa ribu. Keraguan ini kemudian ditinggalkan oleh Hermann Staudinger, ahli kimia asal Jerman yang telah lama meneliti senyawa-senyawa alam, seperti karet dan selulosa. Staudinger tidak menyetujui rasionalisasi ahli kimia lainnya yang menyatakan bahwa senyawa ini adalah agregat (kumpulan) dari molekul-molekul kecil. Sebaliknya, Staudinger menyarankan hipotesis bahwa senyawa ini terbuat dari makromolekul-makromolekul yang tersusun atas 10.000 atau lebih atom. Staudinger kemudian memformulasikan struktur dari karet berdasarkan unit-unit ulang isoprene (yang kemudian disebut monomer). Untuk kontribusinya yang amat besar bagi perkembangan ilmu kimia, Staudinger menerima hadiah Nobel pada 1953. Istilah polimer dan monomer kemudian diperkenalkan. Istilah ini berasal dari bahasa Yunani, yaitu *poli* (banyak), *mono* (satu), dan *meros* (bagian).

Terminologi polimer digunakan untuk menerangkan senyawa-senyawa yang memiliki berat molekul relatif besar (dengan orde 10^4) dan dibentuk dari serangkaian monomer-monomer kecil dan sederhana. Contoh polimer sederhana adalah polietena yang terdiri atas unit-unit ulang etena. Polietena dibentuk dari reaksi polimerisasi yang terjadi pada molekul-molekul etena. Etena kemudian disebut sebagai monomer, prekursor dari polietena.

Kebanyakan polimer adalah senyawa organik dan tersusun atas molekul hidrokarbon. Meskipun demikian, polimer anorganik dan komposit juga banyak dikembangkan. Molekul hidrokarbon penyusun polimer organik dapat berikatan tunggal, rangkap dua, ataupun rangkap tiga. Hidrokarbon jenuh adalah hidrokarbon yang semua ikatannya tunggal. Itu artinya jumlah atomnya maksimum (atau jenuh). Salah satu contohnya adalah senyawa parafin, C_nH_{2n+2} . Kebalikannya adalah hidrokarbon tak jenuh yang mengandung ikatan rangkap dua ataupun rangkap tiga.

Pengetahuan akan makromolekul polimerik sebagai komponen penyusun sejumlah material alam, seperti kertas dan karet, mendorong perkembangan lebih lanjut pada pembuatan polimer-polimer sintesis analog yang memiliki beragam sifat dan kegunaan. Pada akhirnya, aplikasi dari material-material, seperti plastik, serat, film fleksibel, cat yang resisten, dan padatan-padatan kuat, tetapi ringan, telah secara signifikan mentransformasi kehidupan masyarakat modern.



Gambar 1.2
Contoh Aplikasi Polipropilen dan Polietilen

Mengapa kemudian penggunaan polimer terus merambah ke berbagai aplikasi menggantikan material lain yang telah lama digunakan, seperti besi, baja, atau paduan logam lainnya? Alasan utamanya pastilah bukan harga dari bahan bakunya karena sesungguhnya sumber dari polimer sintesis adalah minyak mentah atau gas-gas alam yang harganya saat ini terus merangkak naik. Jadi, apabila kita bandingkan,

harga polimer (dilihat dari penggunaan bahan bakunya, yaitu minyak bumi dan gas alam) relatif lebih tinggi dibandingkan material tradisional, seperti baja lunak atau paduan logam lainnya. Oleh sebab itu, alasan utama penggunaan polimer yang begitu luas bukan semata-mata karena biaya produksi yang rendah.

Untuk dapat menjawab pertanyaan di atas, kita harus melihat lebih jauh lagi pada produk akhir dan aplikasinya. Salah satu area terluas aplikasi polimer ada pada industri kemasan, yaitu plastik telah mendominasi sebagai kemasan makanan dan minuman.

Preservasi makanan merupakan kebutuhan vital. Karena itu, keberadaan industri kemasan menjadi sangat penting. Untuk dapat diaplikasikan sebagai kemasan, diperlukan material yang mampu melindungi sediaan makanan dari kontaminasi bakteri. Selain plastik, kaleng (aluminium), botol, dan gelas juga dapat digunakan sebagai kemasan. Namun, plastik memiliki kelebihan kompetitif, yaitu dari berat jenisnya yang



Gambar 1.3
Contoh Aplikasi Politetrafluoroetilen

kecil sehingga berat benda setelah dikemas akan lebih kecil dibandingkan pada penggunaan kemasan kaleng atau gelas. Masalah berat ini akan menjadi penting apabila kita berbicara tentang distribusi makanan dari satu tempat ke tempat lain. Material polimer yang sering digunakan sebagai kemasan, antara lain poli(vinil klorida) (PVC), polipropilen (PP), *low density* polietilen (PE), dan poli(etilen tereftalat) (PET) (Gambar 1.2).

Penggunaan poli(tetrafloro etilen) (PTFE) sebagai pelapis anti lengket pada beragam peralatan masak lebih disukai karena sifatnya yang non reaktif, hidrofobik, dan memiliki ketahanan panas yang cukup tinggi (Gambar 1.3). Di samping itu, penggunaan poli(vinil klorida) (PVC) menggantikan besi sebagai pipa untuk saluran air, terutama disebabkan PVC lebih ringan dari besi sehingga sangat memudahkan instalasi dan transportasinya dari satu tempat ke tempat lain. PVC juga kuat dan lebih tahan lama karena bersifat resisten terhadap korosi.

Kesimpulannya, polimer memiliki sifat-sifat intrinsik yang amat berguna pada pembuatan produk-produk baru. Manfaat yang paling menonjol adalah berat jenis yang rendah sehingga memudahkan instalasi dan transportasinya sehingga menurunkan biaya produksi. Selain itu, tentu saja ketahanannya pada korosi yang amat diperlukan pada pembuatan benda atau bangunan yang didesain agar tahan lama. Kelebihan lainnya adalah luasnya spektrum variasi polimer dilihat dari sifat fisik, termal, dan mekanik, serta kemudahan untuk dibentuk, diisi, dan diwarnai.

B. PENULISAN STRUKTUR POLIMER

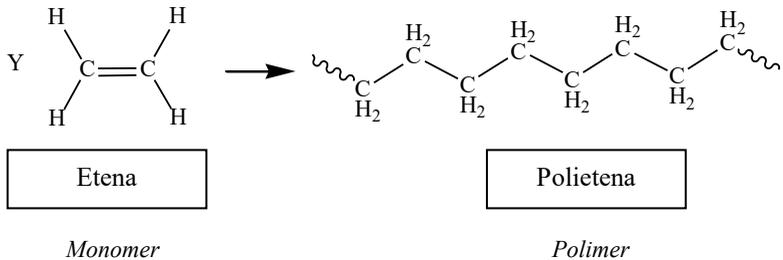
Pernahkah Anda memperhatikan plastik yang biasa kita gunakan sehari-hari? Tahukah Anda bahwa plastik (polietilen) tersebut sesungguhnya tersusun atas ikatan sederhana antaratom karbon dan hidrogen yang sangat panjang? Namun, mengapa plastik sangat berbeda dengan gas etena (misalnya sebagai monomer pembentuknya), padahal keduanya terdiri atas atom-atom yang sama? Untuk dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan ini, Anda harus terlebih dahulu memahami struktur polimer dan membandingkannya dengan molekul-molekul yang lebih sederhana.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, molekul polimer adalah makromolekul, berukuran besar yang terbentuk melalui polimerisasi dari monomer-monomer. Untuk kebanyakan polimer, molekul-molekul ini memiliki rantai yang sangat panjang. Rangka utama dari polimer biasanya berupa serangkaian atom karbon, sering kali berikatan tunggal. Polimer terdiri atas struktur dasar yang disebut unit-unit mer. Molekul polimer tersusun atas rangkaian dari unit-unit mer yang berulang-ulang. Molekul

yang hanya memiliki satu mer adalah monomer yang merupakan unit terkecil dari polimer. Yang harus Anda garis bawah adalah *unit ulang dari polimer tidak sama dengan monomernya*.

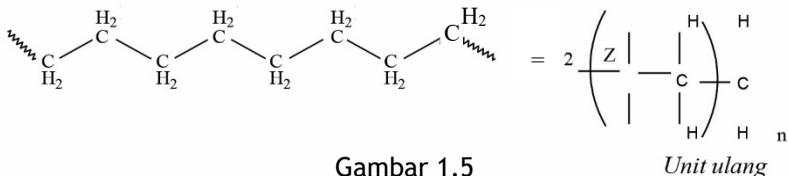


Struktur unit ulang dari polimer tidak hanya merefleksikan monomer-monomer pembentuk polimer tersebut, tetapi juga memudahkan alternatif penulisan struktur polimer menjadi lebih sederhana untuk merepresentasikan makromolekul ini. Misalnya, polietena dinilai sebagai polimer yang paling sederhana, penulisan struktur polimernya dapat dijelaskan dari persamaan reaksi pada Gambar 1.4. Yang berperan sebagai monomer adalah etena, sedangkan polimer linier yang dihasilkan disebut sebagai polietena densitas tinggi atau *high-density polyethylene* (HDPE). HDPE tersusun atas makromolekul-makromolekul dengan jumlah unit ulang (n) berkisar antara 10.000 sampai 100.000 (berat molekul antara 2×10^5 hingga 3×10^6).



Gambar1.4
Reaksi Pembentukan Polietena dari Etena

Penulisan sederhana dari struktur polietena ditunjukkan pada gambar berikut.

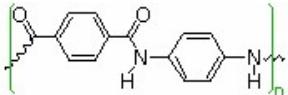


Gambar 1.5
Cara Penggambaran Polimer

Polimer yang diperoleh dinamakan polietena dan bukan polimetilen (-CH₂)_n karena etilena (etena) merupakan senyawa precursor (monomer) dari polimer tersebut.

Tabel 1.1
Beberapa Jenis Polimer, Monomer, dan Unit Ulang Penyusunnya

Polimer	Monomer	Unit Ulang (dengan beragam cara penulisan yang umum digunakan)
Poli(vinil klorida)	CH ₂ =CHCl	
Poliisobutilena		
Polistirena		
Poliisoprena		
Polikaprolaktam		

<p>Poliamida (Kevlar)</p>	<p>para HO₂C-C₆H₄-CO₂H + para H₂N-C₆H₄-NH₂</p>	
<p>Poli(viniliden klorida) (Saran A)</p>	<p>CH₂=CCl₂</p>	<p>-(CH₂-CCl₂)_n-</p>
<p>Poli(metil metakrilat) (PMMA)</p>	<p>CH₂=C(CH₃)CO₂CH₃</p>	<p>-[CH₂-C(CH₃)CO₂CH₃]_n-</p>
<p>Poli(vinil asetat) (PVAc)</p>	<p>CH₂=CHOCOCH₃</p>	<p>-(CH₂-CHOCOCH₃)_n-</p>

C. APLIKASI POLIMER

Tidak diragukan lagi, pengetahuan akan polimer telah memberikan pengaruh besar terhadap cara hidup manusia. Sulit untuk menemukan satu aspek dalam kehidupan kita yang tidak dipengaruhi oleh keberadaan polimer. Dengan pemutakhiran dalam hal pemahaman akan polimer diikuti penelitian mengenai aplikasinya, tidak ada alasan bahwa revolusi ini akan terhenti di masa yang akan datang. Pada bagian ini, akan disajikan aplikasi dari beberapa golongan polimer. Dilihat dari kegunaannya, ada tiga kelompok besar dari polimer sebagai berikut:

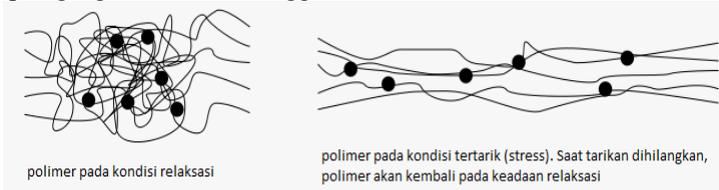
1. elastomer,
2. plastik,
3. serat.

Untuk dapat memahami lebih jauh mengenai ketiga kelompok besar ini, kita tinjau satu per satu asal usul dan sifat-sifatnya.

1. Elastomer

Polimer-polimer yang dikategorikan sebagai elastomer adalah polimer yang memiliki sifat dan karakteristik karet, yaitu fleksibel dan elastis. Untuk dapat bersifat elastis, suatu polimer harus memenuhi kriteria berikut.

- a. Memiliki molekul-molekul yang panjang dan fleksibel serta yang akan menggulung (berbentuk *coil*) pada keadaan alaminya, tetapi dapat diregangkan tanpa mengalami pemutusan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.6. Elastomer dapat mengalami peregangan reversibel hingga 5-700% dari kondisi awal.



Gambar 1.6

- b. Mengandung beberapa ikatan silang antarrantai polimer sehingga satu rantai tidak akan bergeser melewati rantai lainnya pada saat molekul tersebut ditarik. Tanpa adanya ikatan silang ini, tarikan yang diberikan pada polimer akan menyebabkan deformasi (kerusakan rantai) yang permanen.
- c. Ikatan silang tidak terlalu banyak karena molekul dengan ikatan silang yang terlalu banyak akan menjadi terlalu kaku untuk dapat diregangkan.
- d. Gaya tarik-menarik antarrantai polimer satu dengan lainnya harus relatif lemah. Gaya tarik-menarik antarmolekul yang rendah inilah yang menyebabkan polimer dapat ditarik dan menggulung kembali ke bentuk *coil* setelah gaya regangan dihilangkan

Contoh elastomer adalah karet alam dan karet sintesis *stiren butadiene rubber* (SBR), serta karet silikon. Pada karet silikon, rantai karbon utama digantikan dengan rantai silikon dan oksigen yang tersusun secara bergantian. Elastomer ini juga merupakan polimer berikatan silang yang stabil, bahkan sampai suhu yang lebih tinggi dari elastomer berbasis atom karbon.

2. Plastik

Konsumsi plastik dunia telah menembus angka miliaran ton per tahun. Harganya yang relatif rendah, kemudahan produksinya, fleksibilitasnya, dan

ketahanannya terhadap air membuat plastik digunakan secara luas, mulai dari kemasan, alat kantor, hingga pada pembuatan pesawat ruang angkasa.

Ada dua jenis plastik, yaitu termoplastis dan plastik termoset. Perbedaan mendasar dari dua jenis plastik ini adalah termoplastis dapat dilelehkan ulang dan dibentuk kembali, sedangkan plastik termoset tidak dapat dilelehkan dan akan tetap berwujud padat saat dipanaskan.

Polimer termoplastis akan melunak saat dipanaskan dan mengeras saat didinginkan. Karena itu, dapat dilelehkan dan dibentuk. Pada pabrikasinya, material termoplastis dapat mengandung material *filler* yang berupa serat atau serbuk yang memberikan peningkatan sifat-sifat fisik atau mekanis tertentu (kekuatan, kekakuan, warna, dan lain-lain).

Beberapa contoh polimer termoplastis sebagai berikut.

- a. Poliolefin: polietilen (LDPE dan HDPE), polipropilena.
- b. Stiren: polistiren (PS), akrilonitril-butadiena-stiren (ABS), stiren akrilonitril (SAN).
- c. Vinilik: poli(vinil klorida) (PVC).
- d. Akrilik: poli(metil metakrilat) (PMMA).
- e. Polimer fluoro: politetrafluoroetilen (FTFE/Teflón).
- f. Poliamida: poliamida
- g. Poliester: polikarbonat.
- h. Polimer yang mengandung belerang (S): polisulfon.



(a)



(b)

Gambar 1.7
Contoh Termoplastis (a) dan Plastik Termoset (b)

Polimer termoset tidak meleleh saat dipanaskan. Material termoset lebih kuat dan kaku dari termoplastis. Contoh-contoh polimer termoset sebagai berikut:

- a. epoksi,
- b. fenolik,
- c. melamin formaldehid.

Di antara sekian banyak polimer yang termasuk dalam kategori plastik, yang paling banyak digunakan sebagai plastik komersial adalah polietilen. Polietilen digunakan dalam beragam aplikasi karena berdasarkan strukturnya, dapat diproduksi dalam banyak ragam bentuk. Aplikasi dari polietilen antara lain sebagai kantong plastik, kontainer, tekstil, insulasi listrik, dan lain-lain.

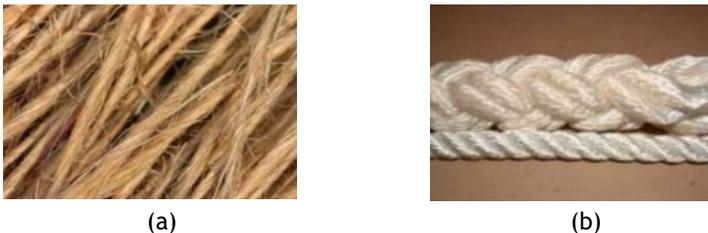


Gambar 1.8
Contoh Aplikasi Polietilen sebagai Kemasan Produk

3. Serat

Serat atau dalam bahasa Latin berasal dari kata *fibra*, yaitu senyawa alami ataupun sintetis yang dimensi panjangnya jauh lebih besar dari lebarnya. Serat umumnya digunakan sebagai bahan baku pada pembuatan material lain. Material-material kuat umumnya memiliki kandungan serat, misalnya serat karbon dan polietilen dengan berat molekul ultra tinggi.

Serat alami, seperti katun, wol, dan sutra, telah digunakan oleh manusia selama berabad-abad. Pada tahun 1885, sutra sintetis mulai dipatenkan dan diperkenalkan pada industri serat modern. Serat sintetis umumnya diproduksi melalui proses yang relatif murah dan kapasitas besar dibandingkan serat alami. Meskipun demikian, serat alami lebih disukai sebagai bahan pakaian karena memberikan kenyamanan bagi penggunanya. Contoh serat alami adalah katun, rami, serat kayu, sutra, wol, dan rambut.



(a) (b)
Gambar 1.9
Contoh Serat Alami (a) dan Sintetis (b)

Secara umum, serat memiliki panjang setidaknya 100 kali dari lebarnya. Beberapa golongan serat alami dan sintetis dapat memiliki perbandingan panjang terhadap lebar hingga 3000 kali atau lebih. Aplikasi terdekat dari serat ada pada industri tekstil. Polimer sintetis yang telah dikembangkan memiliki sifat-sifat khusus, yaitu titik pelunakan tinggi yang memudahkan dalam penyetricaan bahan tekstil, kekuatan mekanis tinggi, kekakuan cukup, kualitas bahan baik, kenyamanan, dan estetika. Polimer-polimer inilah yang dibentuk menjadi serat dengan beragam karakteristik. Dari kriteria ini, sesungguhnya ada banyak golongan plastik yang juga dapat digunakan sebagai serat. Contoh serat semisintetis dan sintetis adalah nilon, dakron, rayon, serat karbon, *fiberglass*, poliester, dan serat poliuretan.

Nilon (panggilan dagang dari poliamida) dikembangkan pada tahun 1930-an dan digunakan sebagai bahan parasut selama Perang Dunia II. Serat sintetis ini dikenal karena kekuatannya, elastisitas dan ketahanannya, serta memiliki aplikasi komersial sebagai pakaian dan karpet. Nilon memiliki sifat khusus yang tidak dimiliki material lain, yaitu elastisitas. Nilon sangat elastis. Meskipun demikian, apabila batas keelastisannya telah dilewati, material ini tidak akan kembali ke bentuk awal. Seperti kebanyakan serat sintetis, nilon memiliki ketahanan listrik yang besar. Inilah yang menyebabkan aplikasinya pada bahan pakaian dan karpet.



Gambar 1.10
Serat Nilon (a) dan Kain dari Nilon (b)

Dari bahan tekstil hingga rompi antipeluru (kevlar), serat telah menjadi bagian penting yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan. Seiring dengan kemajuan dalam pembuatan serat, material generasi baru yang kuat, tetapi ringan akan banyak diproduksi pada masa yang akan datang.



Gambar 1.11
Kain Kevlar (a) Bahan untuk Membuat Rompi Antipeluru (b)

Pada Tabel 1.2 berikut, telah ditabulasikan beragam jenis polimer yang banyak digunakan berikut ranah aplikasinya.

Tabel 1.2
Contoh-contoh Polimer dan Aplikasinya

Nama Polimer	Aplikasi
Poli(etilen) (PE) Low density polyethylen (LDPE)	Kantong plastik, wadah film
Poli(etilen) (PE) High density polyethylen (HDPE)	Insulasi listrik, botol, mainan
Polipropilen (PP) beragam tingkatan	Mirip dengan LDPE, karpet plastik, <i>stationary</i>
Poli(vinil klorida) (PVC)	pipa
Poli(viniliden klorida) (Saran A)	Penutup jok, film
Polystiren (PS)	Mainan, kabinet, kemasan
Poliakrilonitril (PAN, orlon, acrilan)	Selimut, pakaian
Politetrafluoroetilen (PTFE, teflon)	Permukaan antilengket, insulasi listrik
Poli(metil metakrilat) (PMMA, lucite, plexiglas)	<i>lighting covers, signs skylights</i>
Poli(vinil asetat) (PVAc)	Cat lateks, lem (<i>adhesive</i>)
cis-Poliisoprena karet alam	Memerlukan vulkanisasi untuk aplikasinya
Polikloropren (cis + trans) (Neoprene)	Karet sintetis Resisten minyak



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Sebutkan pengertian dari polimer!
- 2) Apa keuntungan penggunaan polimer dibandingkan material lain?
- 3) Sebutkan beberapa aplikasi polimer dalam kehidupan!
- 4) Sebutkan tiga golongan besar polimer!
- 5) Sebutkan contoh polimer yang tergolong plastik! Apa aplikasinya dalam kehidupan?
- 6) Sebutkan contoh polimer yang tergolong elastomer! Apa aplikasinya dalam kehidupan?
- 7) Sebutkan contoh polimer yang tergolong serat! Apa aplikasinya dalam kehidupan?

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Polimer dapat didefinisikan sebagai makromolekul (dengan orde massa molekul 10^5) yang tersusun atas unit-unit ulang monomer.
- 2) Keuntungan penggunaan polimer dibandingkan bahan lain (logam, misalnya) sebagai berikut:
 - a) massa jenis yang kecil sehingga memudahkan distribusi dan instalasinya;
 - b) tahan terhadap korosi.Coba Anda cari kelebihan lainnya.
- 3) Anda dapat menyebutkan beberapa jenis polimer dan aplikasinya sebagai berikut:
 - a) polietilen dalam industri kemasan,
 - b) poli(vinil klorida) sebagai bahan baku pipa,
 - c) poliester dalam industri tekstil,
 - d) dan lain-lain.
- 4) Tiga golongan besar polimer sebagai berikut:
 - a) elastomer,
 - b) plastik,
 - c) serat.

- 5) Misalnya, polipropilen sebagai kemasan air mineral, dan lain-lain.
- 6) Misalnya, SBR (*stiren-butadien-rubber*) sebagai bahan ban kendaraan.
- 7) Misalnya nilon sebagai kain.



RANGKUMAN

- 1) Polimer merupakan makromolekul yang tersusun atas unit-unit ulang molekul sederhana yang disebut sebagai monomer.
- 2) Perkembangan ilmu kimia polimer sangat pesat dan penggunaan polimer telah merambah berbagai bidang kehidupan.
- 3) Tiga golongan besar polimer yang banyak digunakan adalah plastik, serat, dan elastomer.

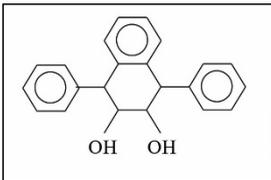


TES FORMATIF 1

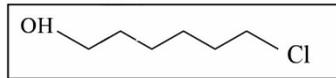
Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Senyawa berikut yang tergolong sebagai polimer adalah

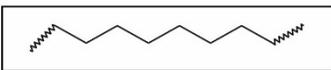
A.



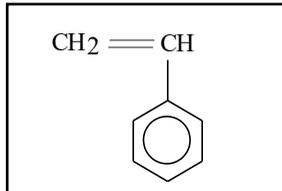
B.



C.



D.



- 2) Yang merupakan unit ulang dari polietena adalah
- $\text{CH}_2\text{-CH}_2$
 - -CH-CH-
 - $\text{-CH}_2\text{-}$
 - CH_4
- 3) Pernyataan berikut yang *bukan* merupakan penyebab meluasnya aplikasi polimer organik adalah
- kemudahan untuk dibentuk dan diwarnai
 - dimensinya yang relatif ringan
 - variasi sifat fisik dan mekaniknya
 - bahan baku dari sumber yang dapat diperbarui
- 4) Berikut ini adalah polimer yang banyak digunakan sebagai kemasan air mineral, *kecuali*
- polietilen
 - poli(etilen tereftalat)
 - polipropilen
 - poli(vinil asetat)
- 5) Teflon® adalah nama dagang dari polimer yang digunakan sebagai bahan antilengket. Nama lain dari polimer ini adalah
- poli(etilen tereftalat)
 - polisulfon
 - politetrafluoroetilen
 - poliakrilonitril
- 6) Salah satu contoh polimer yang memiliki ketahanan luar biasa terhadap panas dan tidak dapat dilelehkan adalah
- polietilen
 - melamin formaldehid
 - poli(etilen tereftalat)
 - poli(vinil asetat)
- 7) Polimer yang memiliki panjang lebih dari 100 kali lebarnya dan banyak diaplikasikan dalam industri tekstil tergolong sebagai
- termoplastis
 - termoset
 - elastomer
 - serat

- 8) Berikut ini adalah polimer yang bersifat dapat dilelehkan, dibentuk, dan diwarnai, *kecuali*
- epoksi
 - polietilen
 - polipropilen
 - polistiren
- 9) Ban kendaraan bermotor harus terbuat dari bahan yang bersifat elastis, tahan panas, dan dapat menyerap sebagian energi sehingga memberikan kenyamanan kepada pengemudinya. Polimer yang menjadi bahan baku ban tergolong sebagai
- termoplastis
 - termoset
 - elastomer
 - serat
- 10) Polimer yang banyak digunakan sebagai bahan perekat (*adhesives*) adalah
- poli(vinil asetat)
 - poli(vinil klorida)
 - poliakrilonitril
 - polistiren

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2**Klasifikasi dan Tata Nama Polimer**

Pada kegiatan belajar sebelumnya, Anda sudah mendapatkan pengertian dan kegunaan-kegunaan polimer dalam kehidupan. Untuk dapat memiliki gambaran yang utuh tentang polimer, Anda diharapkan dapat mengenal berbagai klasifikasi dan tata nama polimer.

A. KLASIFIKASI UMUM DARI PRODUK POLIMER**1. Berdasarkan Sumber**

Berdasarkan asalnya, terdapat dua jenis polimer berikut.

- a. Polimer alam, yaitu polimer yang dapat dieksploitasi dari alam secara langsung.
- b. Polimer sintesis, yaitu polimer yang dibuat manusia, biasanya menggunakan bahan baku minyak mentah dan gas alam.

Polimer alam dapat berasal dari tiga sumber berikut:

- a. tumbuhan, seperti katun, kapas, dan karet alam,
- b. hewan, seperti sutera dan wol,
- c. mineral, seperti asbestos.

2. Berdasarkan Reaksi Pembentukannya

Polimer sintesis dapat diklasifikasikan lebih lanjut berdasarkan reaksi pembentukannya. Pada tahun 1929, Carothers menyarankan klasifikasi polimer ke dalam dua kelompok, yaitu polimer kondensasi dan polimer adisi. Berdasarkan pengelompokan ini, dapat ditarik formulasi sebagai berikut.

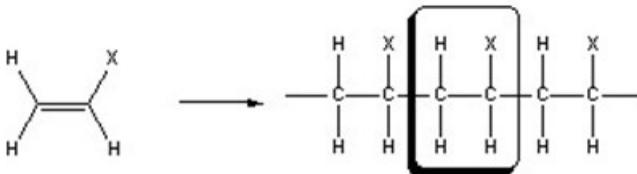
- a. Polimer kondensasi adalah polimer yang unit ulang dari rantai polimernya memiliki jumlah atom lebih sedikit dibandingkan monomernya, misalnya dalam banyak kasus, reaksi polimerisasi kondensasi sering kali diikuti dengan pelepasan molekul air.
- b. Polimer adisi adalah polimer yang tidak mengalami kehilangan atom-atom tertentu pada pembentukannya. Jadi, jumlah atom monomer sama dengan jumlah atom dari unit ulangnya (walaupun jumlah/jenis ikatannya dapat berbeda).

Namun, klasifikasi ini menuai kontroversi karena adanya beberapa ketidaksesuaian. Akhirnya, pada tahun 1953, Flory mengusulkan perubahan klasifikasi ini. Klasifikasi yang diusulkan didasarkan mekanisme pembentukan polimer.

- a. Polimer kondensasi dibentuk dari reaksi kondensasi antarmolekul yang bertahap (*step reaction*) dari gugus-gugus reaktif yang dimiliki molekul-molekul tersebut.
- b. Polimer adisi dihasilkan dari reaksi rantai (*chain reaction*) di sekitar satu sisi aktif (radikal).

a. Polimer adisi

Polimer adisi diperoleh dari unit monomer tak jenuh yang saling bereaksi membentuk polimer dengan rumus empiris unit ulangnya yang identik dengan monomer sehingga tidak ada produk samping. Biasanya, monomer adalah senyawa monofungsional (hanya memiliki satu sisi reaktif). Secara umum, reaksi polimerisasi adisi digambarkan sebagai berikut.



Gambar 1.12

Beberapa karakteristik dari polimer adisi sebagai berikut.

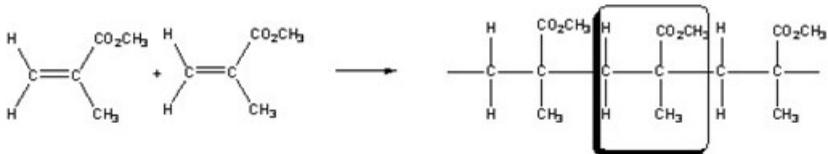
- 1) Reaksi polimerisasi adisi berlangsung pada ikatan rangkap karbon- karbon.
- 2) Dapat melibatkan reaksi pembukaan cincin.
- 3) Jenis-jenis polimer adisi yang paling dikenal adalah polimer vinil.
- 4) Contoh dari polimer adisi antara lain polietilen, poli(vinil klorida), polistiren, dan polipropilen.

Contoh reaksi polimerisasi adisi pada polietena sebagai berikut.



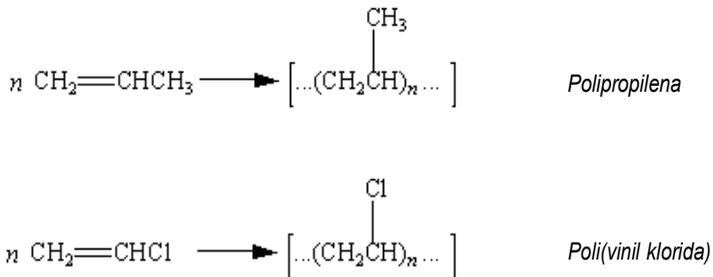
Gambar 1.13

Contoh reaksi polimerisasi adisi pada poli(metil metakrilat) sebagai berikut.



Gambar 1.14

Selain polietilen dan poli(metil metakrilat), polipropilena, dan poli(vinil klorida) juga merupakan polimer-polimer adisi. Polimer ini diperoleh dari penambahan monomer-monomer untuk menumbuhkan rantai polimer. Polimer adisi dapat dikenali dari unit-unit ulangnya yang selalu memiliki rumus molekul yang sama dengan monomer pembentuknya.



Gambar 1.15

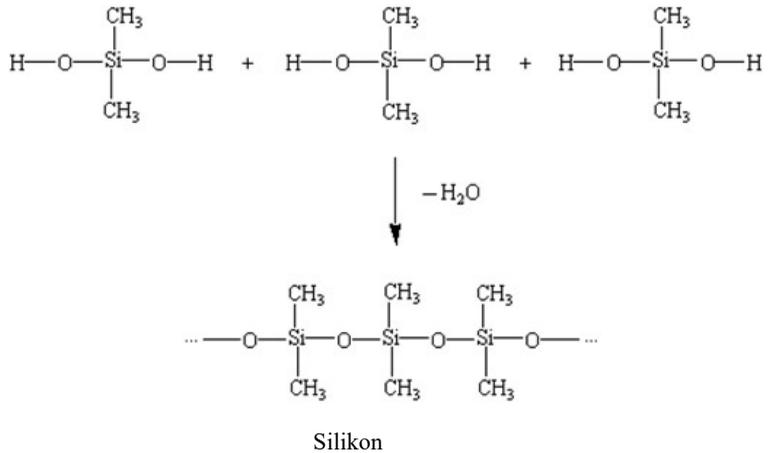
b. Polimer kondensasi

Jenis produk polimer yang diperoleh melalui reaksi polimerisasi kondensasi (polikondensasi) ditentukan oleh fungsionalitas—jumlah rata-rata gugus-gugus reaktif per molekul monomer—dari monomernya.

- 1) Monomer monofungsional yang hanya memiliki satu gugus aktif akan menghasilkan senyawa dengan berat molekul rendah, misalnya etanol bereaksi dengan asam propionate yang akan menghasilkan etil propionate—suatu monoester.
- 2) Monomer bifungsional yang memiliki dua gugus aktif—seperti asam tereftalat—yang bereaksi dengan etilen glikol akan menghasilkan suatu polimer, yaitu poliester.
- 3) Monomer polifungsi yang memiliki lebih dari dua gugus aktif akan menghasilkan polimer bercabang atau polimer berikatan silang.

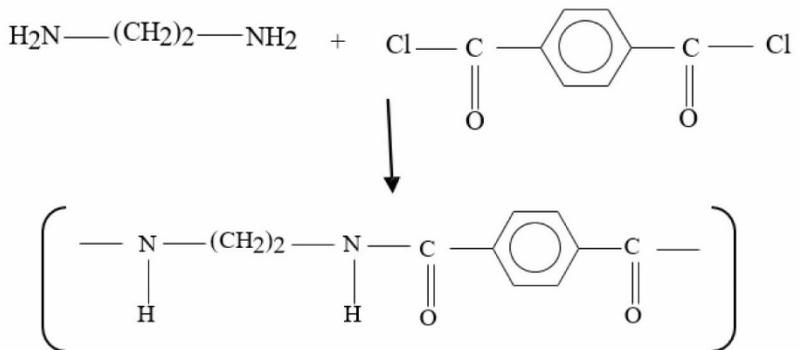
Pemilihan monomer berdasarkan fungsionalitasnya akan menentukan jenis polimer yang diperoleh. Hasil dari polikondensasi akan mengarah pada sifat termal produk, yaitu termoplastis dan termoset. Perbedaan kedua jenis polimer ini akan dijelaskan kemudian.

Silikon, misalnya, merupakan contoh polimer kondensasi yang dibentuk dari polimerisasi $(\text{CH}_3)_2\text{Si}(\text{OH})_2$. Setiap satu monomer ditambahkan pada rantai polimer dan satu molekul air akan dilepaskan (terkondensasi), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.16. Perhatikan bahwa unit ulang dari polimer kondensasi lebih kecil apabila dibandingkan monomer pembentuknya.



Gambar 1.16

Contoh lain dari polimer yang disintesis melalui reaksi polikondensasi adalah poli(etilen tereftalamid).



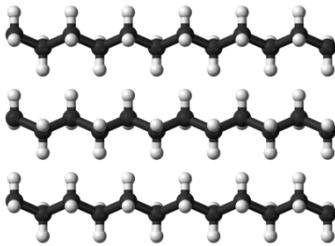
Gambar 1.17

3. Berdasarkan Struktur Rantai Polimernya

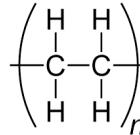
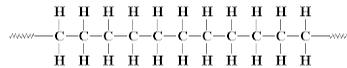
Berdasarkan struktur rantai polimer, terdapat tiga jenis polimer sebagai berikut.

a. *Polimer linier*

Polimer linier atau rantai lurus adalah polimer yang terdiri atas serangkaian ikatan karbon-karbon yang panjang. Namun, sesungguhnya terminologi ini agak menyesatkan karena geometri di sekitar tiap-tiap atom karbon adalah tetrahedral dan rantai yang dihasilkan tidaklah berbentuk linier atau lurus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.18 berikut.



(a)



(b)

Gambar 1.18

Struktur Tiga Dimensi Polietilen (a) dan Penyederhanaannya (b)

Seiring dengan pertumbuhan rantai polimer, akan terbentuk lipatan-lipatan secara acak menghasilkan struktur *coil*. Rantai polimer yang panjang dapat saling tumpang tindih. Untuk lebih mudahnya, kita dapat membayangkan rantai polimer yang dihasilkan sebagaimana halnya spageti, makanan mie khas Italia.

Jadi, istilah polimer linier merupakan penyederhanaan untuk merepresentasikan polimer yang tidak memiliki percabangan atau ikatan silang. Polimer linier biasanya terbentuk dari monomer-monomer monofungsional yang mengalami reaksi polimerisasi adisi (melalui mekanisme radikal bebas).

Polimer linier tidak memiliki percabangan pada rantai utama sehingga mudah untuk diatur pada orientasi tertentu. Kemudahan pengaturan polimer pada orientasi tertentu menyebabkan sifat polimer linier menjadi teratur (kristalin).

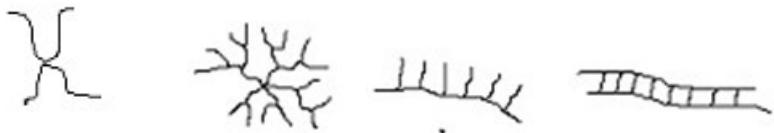
b. *Polimer bercabang*

Polimer-polimer dengan percabangan-percabangan pada interval yang bervariasi sepanjang rantai utama disebut sebagai polimer bercabang (terlihat pada Gambar 1.19).



Gambar 1.19

Adanya percabangan-percabangan pada rantai polimer yang menyebabkannya sulit untuk tersusun dengan orientasi tertentu sehingga sifatnya menjadi kurang teratur. Percabangan polimer dapat menghasilkan beragam geometri sehingga membentuk struktur tertentu yang unik, seperti polimer bintang, dendrimer, sisir, dan tangga yang disajikan pada Gambar 1.20.

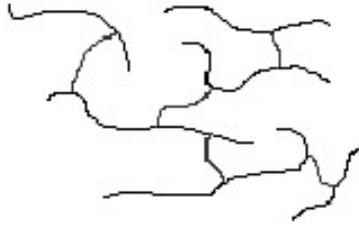


(a) Polimer Bintang (b) Dendrimer (c) Polimersisir (d) Polimer Tangga

Gambar 1.20

c. *Polimer berikatan silang (cross-linked)*

Polimer berikatan silang mengandung percabangan-percabangan yang menghubungkan rantai polimer satu dengan yang lainnya serta menghasilkan struktur seperti Gambar 1.21 berikut.



Gambar 1.21

Pada awalnya, penambahan ikatan silang antarrantai polimer akan menyebabkan polimer bersifat lebih elastis. Misalnya, pada vulkanisasi karet, yang dilakukan melalui penambahan atom-atom sulfur rantai pendek yang menghubungkan rantai polimer satu dengan yang lainnya, seperti pada karet alam. Namun, seiring dengan penambahan ikatan silang, pada tingkat tertentu, polimer akan menjadi kaku dan bersifat lebih *rigid*.

Alasan perbedaan polimer bercabang dengan polimer yang berikatan silang adalah perbedaan karakter rantai sampingnya. Pada polimer yang berikatan silang, rantai samping yang terdapat pada suatu rantai polimer dapat menghubungkan rantai polimer lain yang bersebelahan. Sementara itu, pada polimer bercabang, tidak terjadi ikatan kovalen antarrantai polimer.

Cara termudah untuk membedakan polimer bercabang dengan polimer berikatan silang (*cross-linked*) adalah mempelajari pengaruh pelarutan menggunakan pelarut tertentu terhadap polimer tersebut. Polimer bercabang sering kali dapat larut dalam satu atau lebih pelarut karena pemisahan antarrantai polimer dapat terjadi dengan mudah. Sebaliknya, polimer yang berikatan silang tidak larut dalam semua pelarut karena rantai polimer satu dengan lainnya terikat oleh ikatan kovalen yang kuat.

4. Berdasarkan Sifat Termalnya

Polimer akan memiliki kecenderungan yang berbeda-beda saat dipaparkan pada kondisi termal tertentu. Berdasarkan sifat termalnya, ada dua kelas polimer, yaitu termoplastis dan termoset.

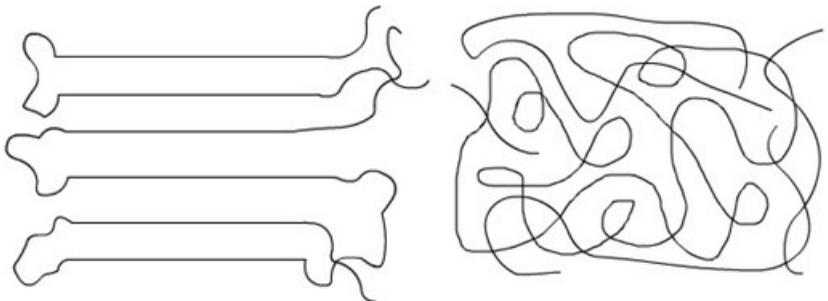
- a. Polimer-polimer linier dan bercabang membentuk suatu kelas material yang dikenal sebagai termoplastis. Material ini akan mengalir apabila dipanaskan dan dapat dicetak menjadi beragam bentuk yang akan dipertahankannya ketika didinginkan.
- b. Polimer yang berikatan silang secara kuat menghasilkan jenis plastik termoset. Sekali ikatan silang telah terbentuk, polimer ini akan menghasilkan bentuk tertentu yang tidak akan dapat diubah lagi meskipun dipanaskan, kecuali jika dihancurkan.

Polipropilen, misalnya, yang sering kali digunakan sebagai bahan kursi-kursi plastik di sekolah-sekolah adalah salah satu contoh termoplastis. Bahan ini cukup lentur sehingga memberikan kenyamanan saat kita meregangkan badan kita. *Casing* plastik radio yang umum kita jumpai termasuk dalam kategori plastik termoset. Bahan ini lebih cenderung terpecah belah dibandingkan menjadi bengkok apabila terjatuh mengenai lantai.

Polimer-polimer termoplastis dapat dipanaskan dan dibentuk menjadi beragam variasi bentuk. Sebaliknya, polimer termoset tahan terhadap panas dan tidak dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Sekali polimer termoset terbentuk, polimer tersebut tidak akan dapat dimodifikasi lebih lanjut. Di pabrik-pabrik polimer, yang memproduksi berbagai macam polimer, derajat ikatan silang merupakan variabel yang diatur secara ketat karena akan sangat berpengaruh pada produk polimer yang diperoleh.

5. Berdasarkan Kristalinitasnya

Bentuk molekul dan cara molekul diatur dalam suatu padatan merupakan faktor penting dalam menentukan sifat dari polimer. Kita dapat menemukan polimer yang hancur saat disentuh hingga polimer yang digunakan sebagai bahan rompi antipeluru. Struktur molekul, komposisi, dan orientasi polimer bisa menjadi alasan dari sifat yang amat berbeda dari keduanya. Salah satu sifat penting yang sangat berpengaruh dan menjadi dasar pengklasifikasian polimer adalah kristalinitasnya. Kristalinitas adalah pengaturan dan orientasi molekul polimer menjadi struktur yang teratur. Karena polimer merupakan makromolekul yang sangat besar, biasanya molekul-molekulnya memiliki susunan yang kurang teratur, yaitu daerah yang teratur (kristalin) bercampur dengan daerah yang tidak teratur (amorf).



Kristali

Amorf

Gambar 1.22

Pada beberapa kasus, suatu padatan bisa bersifat amorf yang artinya secara keseluruhan tersusun atas rantai yang berwujud *coil* dan kacau. Kristalinitas muncul saat struktur rantai linier polimer memiliki orientasi yang seragam.

Peningkatan kristalinitas akan berhubungan dengan kekakuan, kekuatan, dan warna yang buram (berkaitan dengan efek pemantulan sinar). Sementara itu, polimer amorf biasanya kurang kaku, lebih lemah, dan mudah dideformasi dengan warna transparan.

B. TATA NAMA POLIMER

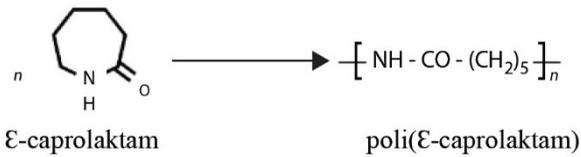
Sekarang, mari kita pelajari bagaimana penamaan dari polimer. Karena kompleksitas struktur dari suatu polimer, pemberian nama polimer bukanlah pekerjaan yang sederhana. Aturan yang dikeluarkan oleh IUPAC pada tahun 1970-an mengenai penamaan polimer memang telah demikian lengkap dan baik. Namun, penamaan standar IUPAC jarang digunakan secara luas, kecuali di lingkungan jurnal-jurnal ilmiah dan karya-karya yang menjadi referensi. Persoalan tata nama menjadi lebih rumit apabila diaplikasikan pada polimer-polimer yang memiliki percabangan ataupun yang berikatan silang dengan struktur tiga dimensi.

Tiga sistem penamaan polimer yang sering kali digunakan didasarkan hal berikut:

1. sumbernya, yaitu monomer yang digunakan pada sintesisnya;
2. struktur dari unit ulang polimer;
3. nama dagang.

1. Penamaan Berdasarkan Sumber

Secara sederhana, polimer diberi nama sesuai dengan monomer pembentuknya. Penamaan dilakukan dengan menambahkan awalan *poli-* pada nama monomernya. Contoh sederhana adalah polietene yang merupakan polimer dari reaksi polimerisasi etena. Sebagian orang menyebutnya polietilen karena etena juga dikenal dengan nama etilena. Demikian juga dengan propena (yang dikenal pula sebagai propilena), polimer dari propena disebut sebagai polipropena ataupun polipropilen. Nama ini juga sering disingkat sebagai poliprop di lingkungan industri tekstil.



Gambar 1.25

2. Penamaan Berdasarkan Struktur

Sistem tata nama polimer yang disarankan IUPAC merupakan metode sistematis penamaan polimer berdasarkan stukturinya. Tahap pertama pemberian nama polimer adalah memilih unit ulang konstitusionalnya (*constitutional repeat unit*/CRU). Misalnya, CRU untuk polietilen adalah CH_2 dan nama IUPAC-nya adalah poli(metilen). Pada tata nama ini, tanda kurung selalu digunakan dan setelah poli-. Untuk polimer yang dibuat dari etilen glikol dan asam tereftalat, perhatikan Gambar 1.26 berikut.

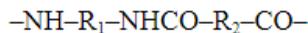


Gambar 1.26

Nama IUPAC-nya adalah poli(oksietilenoksitereptaloil), sedangkan nama yang banyak digunakan adalah poli(etilen tereftalat).

3. Penamaan Berdasarkan Nama Dagang

Nama dagang sering kali digunakan untuk polimer-polimer komersial yang umum. Misalnya, poliamida dengan struktur umum berikut.



Poliamida sering kali disebut sebagai nilon, nama dagangnya. Untuk poliamida yang dibuat dari monomer alifatik ada dua angka yang mengikuti namanya. Angka pertama menunjukkan jumlah gugus metilen pada bagian diamin, sedangkan angka kedua merujuk pada jumlah atom karbon pada bagian diasam. Misalnya, nilon yang dibuat dari heksametilen diamin dan asam adipat berikut.

polimer. Jelaskan bagaimana struktur polimer ini dapat memberikan efek terhadap kerapatan (densitas) polimer.

- 3) Pada gambar berikut telah disediakan empat gambar. Klasifikasikan keempat gambar tersebut sebagai rumus struktur dari monomer, nama monomer, nama polimer, atau rumus struktur polimer. Apabila salah satu gambar dikategorikan sebagai nama monomer, Anda harus mencari rumus struktur dari monomer tersebut, nama polimer yang dapat diperoleh dari polimer tersebut, dan rumus struktur dari polimer yang diperoleh.

Gambar A	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
Gambar B	$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{CH}_3 \\ & \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ & \\ \text{CH}_3 & \text{H} \end{array} \right]_n$
Gambar C	1-butena
Gambar D	Poli(1,3-butadiena)

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Yang harus Anda amati dari kedua reaksi tersebut adalah mekanisme yang kemungkinan dilewati pada reaksi pembentukan polimernya.
 - a) Pada (a) poli(metil metakrilat), diperoleh polimer dengan struktur unit ulang identik dengan monomernya. Itu artinya reaksi tidak disertai dengan pelepasan molekul kecil. Selain itu, keberadaan ikatan rangkap juga dapat memperkuat bahwa mekanisme yang dijalani adalah polimerisasi radikal. Maka itu, polimer (a) dikategorikan sebagai polimer adisi.
 - b) Pada (b) nilon 6, struktur unit ulang polimer tidak sama dengan monomernya dan dapat langsung terlihat bahwa reaksi diikuti dengan pelepasan molekul kecil, yaitu HCl. Selain itu, keberadaan

dua gugus fungsi (gugus karbonil dan amina) mengindikasikan bahwa reaksi polimerisasinya adalah polimerisasi bertahap. Maka itu, polimer (b) dikategorikan sebagai polimer kondensasi.

- 2) Untuk dapat menjawab soal, Anda harus membayangkan struktur yang akan diadopsi oleh kedua polimer tersebut. HDPE memiliki struktur linier, sedangkan LDPE strukturnya bercabang. Apa yang akan terjadi pada penyusunan keduanya?

Ambil analogi sederhana berikut. Bayangkan Anda harus menyusun pipa dalam ruangan. Ada dua macam pipa, yaitu lurus dan bercabang. Pipa manakah yang memudahkan penyusunannya? Mana yang akan menghemat ruang? Mana yang membutuhkan ruang yang besar?

Sekarang, resapi arti fisis dari kerapatan polimer. Harga densitas 1 g/cm^3 berarti volume 1 cm^3 bisa diisi oleh 1 g zat. Itu berarti apabila harga kerapatan tinggi, zat tersebut dapat memaksimalkan ruang dalam penyusunannya.

- 3) Untuk dapat menyelesaikan soal tersebut, Anda harus mengetahui karakteristik dan struktur dari monomer dan polimer. Monomer adalah senyawa prekursor dari polimer. Itu biasanya berupa senyawa organik sederhana (tak jenuh). Sementara itu, polimer adalah makromolekul yang terdiri atas serangkaian unit ulang polimer. Maka dari itu, terdapat kesimpulan berikut.
- Gambar A adalah rumus struktur polimer.
 - Gambar B adalah rumus struktur monomer.
 - Gambar C adalah nama monomer.
 - Gambar D adalah nama polimer.

Nama monomer	Rumus struktur monomer	Rumus struktur polimer	Nama polimer
Etena	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\left(-\text{CH}_2-\text{CH}_2- \right)_n$	polietena
2-butena	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad \diagdown \quad / \\ \quad \quad \quad \text{C} = \text{C} \\ \quad \quad \quad / \quad \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{H} \end{array}$	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{H} \end{array} \right]_n$	Poli(2-butena)
1-butena	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \quad \text{3} \quad \text{4} \\ \quad \quad \quad \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad / \quad \quad \backslash \\ \quad \quad \quad \text{C} = \text{C} \\ \quad \quad \quad / \quad \quad \backslash \\ \text{1} \quad \quad \quad \text{2} \quad \quad \quad \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	$\left[\begin{array}{c} \text{C}-\text{H}_3 \\ \\ \text{C}-\text{H}_2 \\ \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H}_2 \end{array} \right]_n$	Poli(1-butena)
1,3-butadiena	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	$\left[-\text{CH}_2-\text{C}(\text{H})=\text{C}(\text{H})-\text{CH}_2- \right]_n$	Poli(1,3-butadiena)



Polimer dapat diklasifikasikan menjadi lima, yaitu berdasarkan sumber (asal), reaksi pembentukan, struktur (percabangan), sifat termal, dan kekristalan. Berdasarkan sumber, ada dua jenis polimer, yaitu polimer alam dan buatan. Berdasarkan reaksi pembentukan, ada dua jenis polimer, yaitu polimer adisi dan kondensasi. Berdasarkan struktur (percabangan), ada tiga jenis polimer, yaitu polimer linier, bercabang, dan berikatan silang. Berdasarkan sifat termal, ada dua jenis polimer, yaitu termoplastis dan termoset. Berdasarkan kristalinitas, ada tiga jenis polimer, yaitu kristalin, amorf, dan semikristalin.

**TES FORMATIF 2**

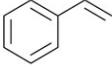
Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Berikut ini adalah polimer yang tergolong sebagai polimer alam, *kecuali*
 - A. katun
 - B. sutra
 - C. karet alam
 - D. nilon

- 2) Polimer dengan derajat ikatan silang yang tinggi akan memiliki sifat yang kaku, keras, dan memiliki ketahanan terhadap panas sehingga tidak dapat dilelehkan tergolong sebagai
 - A. termoset
 - B. termoplastis
 - C. polimer amorf
 - D. dendrimer

- 3) Suatu polimer memiliki struktur rantai bercabang dengan ikatan kovalen antarrantai polimer satu dengan lainnya dan memiliki sifat tidak dapat larut dalam pelarut apa pun termasuk dalam golongan
 - A. polimer linier
 - B. polimer bercabang
 - C. polimer berikatan silang
 - D. polimer termoplastis

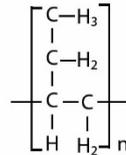
- 4) Polietilen densitas tinggi (HDPE) merupakan polimer linier dengan rantai panjang, sedangkan polietilen densitas rendah (LDPE) adalah polimer bercabang dengan rantai pendek. Pernyataan yang benar tentang kedua jenis polimer ini adalah
 - A. LDPE bersifat lebih kristalin dari HDPE
 - B. struktur LDPE lebih teratur dibandingkan HDPE
 - C. HDPE memiliki derajat kristalinitas yang lebih tinggi dari LDPE
 - D. kristalinitas LDPE dan HDPE tidak berbeda

5) Senyawa berikut ini  dapat mengalami reaksi polimerisasi menghasilkan polimer dengan nama

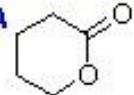
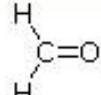
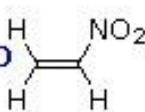
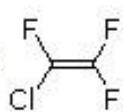
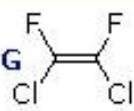
- A. poli(1-feniletilen)
- B. poli(2-feniletilen)
- C. polifenilmetilena
- D. polifeniletena

6) Nama yang sesuai untuk polimer berikut adalah....

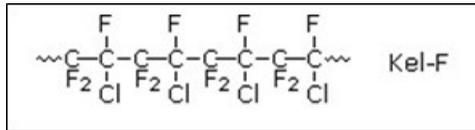
- A. polibutena
- B. poli(1-butena)
- C. poli(2-butena)
- D. poli(etil etilena)



Untuk menjawab soal nomor 7 sampai dengan 9 gunakan gambar di bawah. Pada gambar berikut, terdapat 8 senyawa yang merupakan monomer dari berbagai polimer.

<p>A</p> 	<p>B</p> 
<p>D</p> 	<p>E</p> 
<p>G</p> 	<p>H</p> 
<p>J</p> 	<p>K</p> $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{NO}_2$

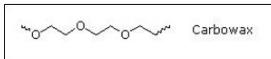
7) Berikut adalah struktur polimer yang dikenal dengan nama Kel-F.



monomer yang menjadi prekursor polimer tersebut adalah

- A. D
- B. E
- C. G
- D. K

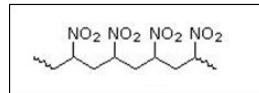
8) *Carbowax*



adalah polimer yang terbuat melalui reaksi pembukaan cincin suatu monomer, yaitu

- A. A
- B. H
- C. J
- D. B

9) Polimer dengan struktur berikut



dapat diperoleh melalui reaksi polimerisasi adisi dari monomer yang memiliki struktur....

- A. D
- B. K
- C. G
- D. E

10) Contoh polimer yang diperoleh melalui reaksi polimerisasi kondensasi adalah

- A. nilon 6
- B. polipropilen
- C. poli(metil metakrilat)
- D. politetrafloroetilen

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) C. Lihat kembali struktur dan cara penulisan polimer.
- 2) B. Monomer dari polietena adalah etena (A), tetapi unit ulang dari polimer ini adalah B.
- 3) D. Bahan baku polimer organik adalah gas alam dan minyak bumi.
- 4) D. Sudah jelas.
- 5) C. Sudah jelas.
- 6) B. Sudah jelas.
- 7) D. Sudah jelas.
- 8) A. Sudah jelas.
- 9) C. Sudah jelas.
- 10) A. Sudah jelas.

Tes Formatif 2

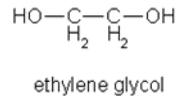
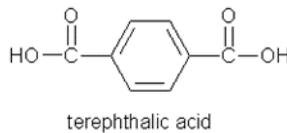
- 1) D nilon
- 2) A termoset
- 3) C polimer berikatan silang
- 4) C HDPE memiliki derajat kristalinitas yang lebih tinggi dari LDPE
- 5) A poli(1-feniletilen)
- 6) B poli(1-butena)
- 7) B Jelas E
- 8) B Jelas H
- 9) A Jelas D
- 10) A nilon 6

Glosarium

- Gutta-percha* (getah perca) : apabila karet alam berasal dari pohon karet *Hevea brasiliensis* yang merupakan cispoli (isoprena), pohon sapodilla di Malaysia *Palaquium oblongifolia* menghasilkan suatu lateks yang merupakan transpoli (isoprena). Material ini disebut *guttah-percha* (getah perca) serta lebih kaku dan keras daripada karet alam.
- Homopolimer : suatu polimer yang dibentuk dari satu spesi monomer.
- Kerapatan (*density*) : untuk mendapatkan kerapatan suatu objek, ukurlah massa objek tersebut dan volumenya, kemudian bagilah massa dengan volume dan memberikan nilai kerapatan objek tersebut dalam satuan g/mL atau kg/L. Karena semua atom kira-kira mempunyai ukuran yang sama, material yang mempunyai kerapatan terbesar adalah logam, seperti osmium dan emas karena mempunyai inti yang berat. Sementara itu, material dengan kerapatan yang paling rendah adalah unsur-unsur penghuni periode pertama tabel periodik, yakni gas hidrogen dan helium.
- Karet sintetis : beberapa polimer sintetis yang meniru sifat-sifat karet alam. Salah satu karet sintetis awal adalah karet ABS (akrilonitril butadiena stirena), suatu kopolimer yang mengandung bagian panjang dari ketiga monomer tersebut.
- Nilon : suatu golongan polimer yang banyak digunakan pada industri tekstil. Ciri umum nilon adalah terdapat ikatan CONH antara satuan-satuan monomernya yang disebut ikatan amida.
- Nilon 6 : bentuk lain dari nilon yang menggunakan hanya satu unit monomer (tidak dua). Monomernya merupakan suatu senyawa laktam, yaitu kaprolaktam suatu senyawa siklik dengan enam

atom karbon dan satu atom nitrogen. Polimerisasi nilon 6 melalui polimerisasi pembukaan cincin laktam.

- Nilon 66 : suatu polimer yang banyak digunakan dalam bentuk serat dan juga sebagai plastik keras. Nilon 66 terbentuk melalui polimerisasi kondensasi dari heksametilendiamina dan asam adipat.
- PET : singkatan dari poli(etilen tereftalat), suatu polimer kondensasi yang banyak digunakan sebagai botol minuman ringan. Polimer ini dapat dibuat melalui reaksi antara etilen glikol dan asam tereftalat untuk menghasilkan polimer dan air.



- Plastik : suatu material polimer yang dapat dicetak menjadi berbagai bentuk ketika dipanaskan (suatu termoplastis). Sifat plastik di antara sifat serat dan sifat elastomer.
- Poliester : golongan polimer yang menggunakan ikatan ester (COOC) untuk menghubungkan satuan-satuan monomernya. Poliester adalah suatu polimer kondensasi.
- Polimer : suatu molekul besar (massa molekul sekitar 10.000 atau lebih) terdiri atas banyak molekul kecil (monomer) yang saling terikat.
- Polimer jaringan : suatu polimer sangat bercabang yang tiap unit rantai polimer saling terhubung/terikat silang.
- Polimer linier : suatu polimer dengan struktur yang terdiri atas rangkaian monomer yang lurus linier, tanpa ada percabangan.
- Polimerisasi adisi : disebut pula poliadisi, suatu reaksi polimerisasi yang pertumbuhan rantai polimer berlangsung melalui reaksi adisi antara molekul-molekul monomer.

- Polimerisasi kondensasi : dikenal juga sebagai polimerisasi pertumbuhan-bertahap (*step-growth polymerisation*). Suatu cara untuk membuat polimer yang setiap rantai polimer tumbuh secara kontinu melalui rangkaian suatu reaksi dari monomer-monomer secara bertahap.
- Poliolefin : suatu polimer dari olefin, yaitu molekul-molekul yang mempunyai gugus fungsi alkena (ikatan rangkap dua). Pada umumnya, terbentuk melalui reaksi polimerisasi radikal bebas (salah satu bentuk dari polimerisasi adisi).
- Rantai bercabang : suatu rantai dengan setidaknya satu titik percabangan.
- Rantai linier : suatu rantai tanpa adanya titik percabangan.
- Rantai utama (tulang punggung) : suatu rantai lurus yang semua rantai lain—yang panjang, pendek, atau keduanya—teruntai pada rantai tersebut.
- Taktisitas : keteraturan dari rangkaian konfigurasi unit ulang (monomer) dalam rantai utama suatu polimer.
- Termoplastis : suatu polimer yang apabila dipanaskan (termo) akan menjadi lunak dan dapat dibentuk (plastis), misalnya polistirena, polietilena, dan lain-lain.
- Termoset : suatu polimer yang apabila dipanaskan (termo) tidak menjadi lunak dan tidak bisa dibentuk. Hal ini biasanya disebabkan terjadinya ikatan silang. Karena itu, molekul menjadi tidak dapat bergerak satu dengan yang lain, kecuali ikatan kimia harus dipecahkan—yang pada gilirannya akan mengakibatkan dekomposisi polimer.

Daftar Pustaka

Billmeyer, F.W. 1984. *Textbook of Polymer Science*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

M.A., Cowd. 1991. *Kimia Polimer, terj.* Hary Firman. Bandung: Penerbit ITB.

Stevens, Malcolm P. 2001. *Kimia Polimer, terj.* Iis Sopyan. Jakarta: Pradnya Paramita.