

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Klasifikasi Polimer

Polimer adalah suatu makromolekul yang tersusun dari unit-unit berulang sederhana. Polimer berasal dari bahasa Yunani yaitu *Poly*, yang berarti banyak, dan *mer* yang berarti bagian atau satuan (Stevens, 2001). Kesatuan unit-unit berulang penyusun polimer disebut dengan monomer. Ciri utama polimer yakni mempunyai rantai yang sangat panjang dan memiliki massa molekul yang sangat besar. Untuk polimer dengan unit monomer yang tergabung bersama dalam jumlah yang kecil polimer disebut dengan oligomer. Oligomer berasal dari bahasa Yunani yaitu *oligos*, yang berarti beberapa. Polimer dapat ditemukan di alam (binatang maupun tumbuhan yang mengandung sejumlah besar bahan polimer).

Polimer dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber, struktur rantai, sifat termal, komposisi dan fase (Stevens, 2001). Berdasarkan sumbernya, polimer terdiri atas dua jenis yaitu polimer alam dan polimer sintetik. Polimer alam adalah polimer yang terjadi melalui proses alam seperti karet alam dan selulosa yang berasal dari tumbuhan, wol dan sutera yang dibuat dari hewan, dan asbes yang berasal dari mineral.

Sedangkan polimer sintetik adalah polimer yang dibuat melalui reaksi kimia seperti nilon, plastik, polyester, dan lain-lain (Stevens, 2001).

Berdasarkan struktur rantainya, polimer dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

a. Polimer rantai lurus

Polimer rantai lurus terjadi jika pengulangan kesatuan berulang itu lurus (seperti rantai) maka molekul-molekul polimer seringkali digambarkan sebagai molekul rantai atau rantai polimer. Polimer ini biasanya dapat larut dalam beberapa pelarut, dan dalam keadaan padat pada temperatur normal. Polimer ini terdapat sebagai elastomer, bahan yang fleksibel (lentur) atau termoplastik (seperti gelas). Contoh polimer rantai lurus adalah Polietilena, poli(vinil klorida) atau PVC, poli(metil metakrilat) (juga dikenal sebagai PMMA, Lucite, Plexiglas, atau perspex), poliakrilonitril (orlon atau creslan) dan nylon 66.

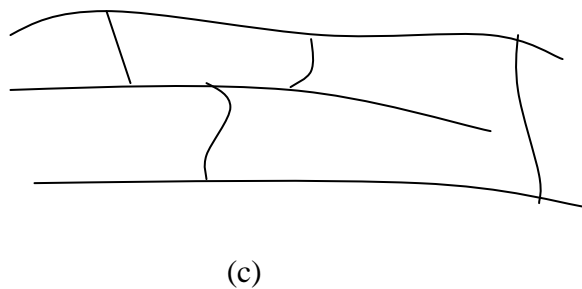
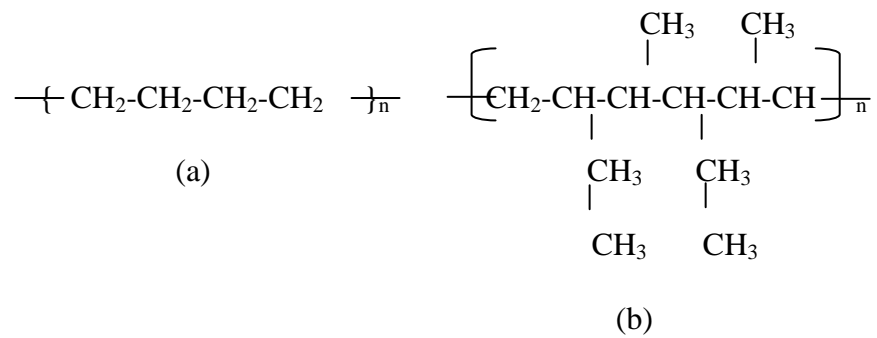
b. Polimer bercabang

Polimer bercabang dapat divisualisasi sebagai polimer rantai lurus dengan percabangan pada struktur dasar yang sama sebagai rantai utama membentuk polimer bersambung silang.

c. Polimer tiga dimensi atau polimer jaringan

Polimer yang terjadi dengan ikatan kimianya terdapat pada rantai ke berbagai arah membentuk polimer sambung-silang tiga dimensi yang sering disebut polimer jaringan. Bahan ini biasanya di"swell" (digembungkan) oleh pelarut tetapi tidak sampai larut. Ketaklarutan ini dapat digunakan sebagai kriteria dari struktur jaringan. Makin besar persen sambung-silang (cross-links) makin

kecil jumlah penggembungannya (swelling). Jika derajat sambung-silang cukup tinggi, polimer dapat menjadi kaku, titik leleh tinggi, padat yang tak dapat digembungkan, misalnya intan (diamond) (Stevens, 2001).



Gambar 1. Struktur polimer (a) rantai lurus, (b) bercabang, (c) tiga dimensi (jaringan).

Polimer juga dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan sifat termalnya yaitu (Stevens, 2001):

a. Polimer Termoplastik

Polimer ini bersifat lunak bila dipanaskan, kaku (mengeras) bila didinginkan dan dapat melarut dalam beberapa pelarut. Contohnya: Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Nilon, Polivinilklorida (PVC) dan Poliester.

b. Polimer Termoset

Polimer ini mengalami pengikatan silang, sehingga polimer ini sukar larut dalam beberapa pelarut, tidak melunak, dan tidak bisa dibentuk. Polimer ini umumnya mempunyai bobot molekul yang tinggi. Contoh: Polimetan sebagai bahan pengemas dan melamin formaldehid (melamin).

Berdasarkan monomer pembentuknya, polimer dibagi menjadi dua jenis yaitu (Stevens, 2000):

a. Homopolimer

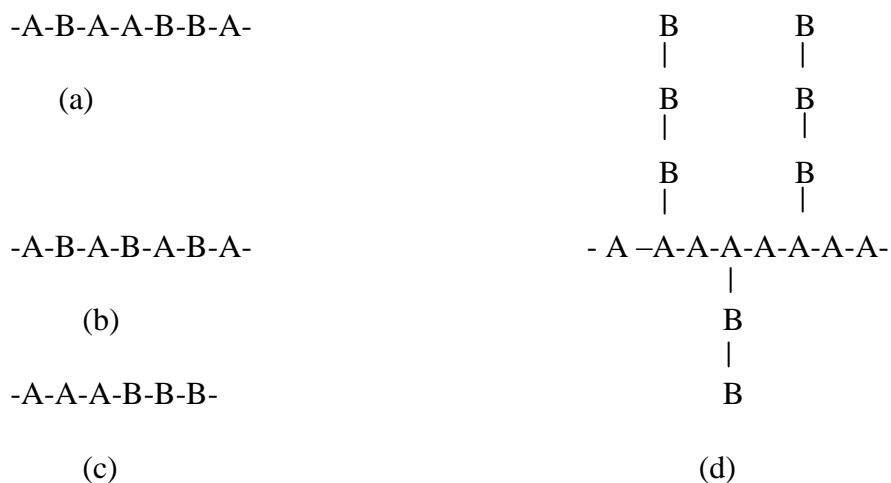
Polimer sederhana yang tersusun dari monomer-monomer yang sejenis (monomer tunggal), seperti polietilen, polipropilen dan lain-lain.

b. Heteropolimer (kopolimer)

Polimer yang tersusun dari dua atau lebih monomer yang tidak sejenis (jadi memungkinkan meragamkan struktur polimer). Jika monomer-monomer penyusunnya bereaksi satu sama lain membentuk kopolimer, maka kopolimer yang dihasilkan umumnya memiliki sifat yang sangat berbeda dari campuran sifat homopolimer penyusunnya. Stevens (2001) mengelompokkan beberapa jenis kopolimer yaitu:

1. Kopolimer acak, merupakan suatu polimer yang tersusun dari kesatuan berulang yang berbeda yang tersusun secara acak dalam rantai polimer. Contoh: Poli(etilen-propilen), poli(vinil klorida-vinil asetat), dan lain-lain.
2. Kopolimer berselang seling, merupakan suatu polimer yang tersusun dari kesatuan berulang yang berbeda yang tersusun secara berselang-seling dalam rantai polimer. Contoh: Poli(etilen-tetrafluoroetilen).

3. Kopolimer blok, merupakan suatu polimer yang terdiri dari rantai panjang satu jenis monomer yang bergabung dengan rantai monomer lain membentuk pencapaian suatu bentuk yang dikehendaki. Contoh: poli(stirena-butadiena), poliuretan-polistiren.
4. Kopolimer cangkok/grafting, merupakan kelompok satu macam kesatuan berulang tercangkok pada polimer tulang punggung lurus yang mengandung hanya satu macam kesatuan berulang. Contoh: poli(akrilonitril-butadiena-stirena), poli(vinil asetat-kitosan), dan lain-lain (Stevens, 2001).



Gambar 2. Struktur kopolimer (a) acak, (b) berselang seling, (c) blok, (d) cangkok dimana A dan B menunjukkan monomer yang berbeda.

Berdasarkan fasenya, polimer terdiri dari dua jenis yaitu (Stevens, 2001):

- a. Kristalin, merupakan suatu polimer yang susunan antara rantai satu dengan yang lain adalah teratur dan mempunyai titik leleh (*melting point*).

- b. Amorf, merupakan suatu polimer yang susunan antara rantai yang satu dengan yang lain orientasinya acak dan mempunyai temperatur transisi gelas (Stevens, 2001).

B. Polimerisasi

Polimerisasi adalah proses pembentukan polimer dari monomernya. Reaksi tersebut akan menghasilkan polimer dengan jumlah susunan ulang tertentu. Secara tradisional polimer-polimer telah diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama yaitu menjadi polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi (Cowd, 1991). Penggolongan ini pertama kali diusulkan oleh **Carothers** yang didasarkan pada apakah unit ulang dari suatu polimer mengandung atom-atom yang sama seperti monomer. Suatu polimer adisi memiliki atom yang sama seperti monomer dalam unit ulangnya, sedangkan polimer kondensasi mengandung atom-atom yang lebih sedikit karena terbentuknya produk sampingan selama berlangsungnya proses eliminasi (Stevens, 2001).

1. Polimerisasi Adisi

Polimer adisi adalah polimerisasi yang disertai dengan pemutusan ikatan rangkap diikuti oleh adisi monomer. Dalam polimerisasi adisi melibatkan reaksi rantai dapat berupa radikal bebas atau ion menghasilkan polimer yang memiliki atom yang sama seperti monomer dalam gugus ulangnya.

Polimerisasi ini juga melibatkan reaksi adisi dari monomer yang memiliki ikatan rangkap. Pada polimerisasi adisi pembawa rantai dapat berupa radikal bebas atau ion, sehingga polimerisasi ini dapat digolongkan menjadi dua

golongan yaitu polimerisasi radikal bebas dan polimerisasi ionik. Tahapan reaksi polimerisasi adisi adalah:

1. Inisiasi

Pada tahap ini terbentuk pusat aktif hasil penguraian suatu inisiator.

Penguraian suatu inisiator dapat dilakukan menggunakan panas, peroksida, dan hidroperoksida, senyawa azo, inisiator redoks, sinar UV, radiasi berenergi tinggi (sinar α , β dan γ), serta plasma.

2. Propagasi (perambatan)

Pada tahap ini pusat aktif berinteraksi (bereaksi) dengan monomer secara adisi kontinu (berlanjut).

3. Terminasi (pengakhiran)

Pada tahapan ini pusat aktif dihentikan. Penghentian ini dapat dilakukan dengan penggabungan radikal atau kombinasi dan disproporsionasi yang melibatkan transfer suatu atom dari satu ujung rantai ke ujung lainnya (Coward, 1991).

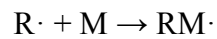
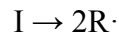
2. Polimerisasi adisi radikal

Merupakan suatu jenis polimerisasi adisi yang paling umum. Biasanya radikal bebas dibentuk melalui penguraian zat dengan menggunakan cahaya. Radikal bebas ini menjadi pemicu pada proses polimerisasi. Tahapan polimerisasi radikal bebas adalah:

- a. Inisiasi

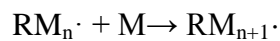
Kekhasan reaksi polimerisasi adalah pada tahap inisiasi. Pada pencangkakan secara iradiasi, inisiasinya adalah radikal yang dihasilkan

dari proses iradiasi polimer induk. Inisiator (I) mengalami dekomposisi menjadi sumber radikal ($R\cdot$) dan kemudian radikal akan bereaksi dengan monomer (M) sebagai awal pertumbuhan rantai.



b. Propagasi

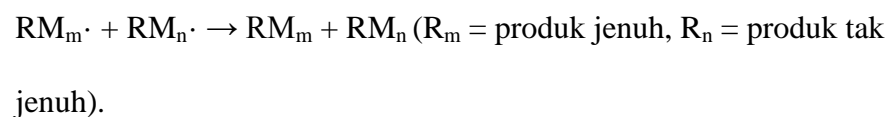
Pada tahapan ini adisi kontinu dari monomer pada rantai radikal yang sedang bertumbuh mengakibatkan kenaikan panjang rantai.



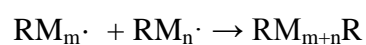
c. Terminasi

Pada tahapan ini seluruh proses polimerisasi berhenti. Dua rantai polimer yang tumbuh dan mempunyai radikal pada tiap rantainya dapat mengalami reaksi dismutasi dan kombinasi.

- Reaksi dismutasi yaitu reaksi terminasi yang menghasilkan produk yang jenuh dan tidak jenuh.



- Reaksi kombinasi yaitu reaksi terminasi yang merupakan gabungan dari kedua radikal yang bertumbuh.



3. Polimerisasi Ionik

Polimerisasi ionik berlangsung pada suhu rendah, melibatkan pembentukan ion oleh katalis dan ion yang dibentuk dapat berupa ion karbanion (anion) atau ion karbonium (kation).

a. Polimerisasi kationik

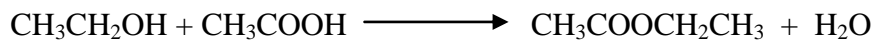
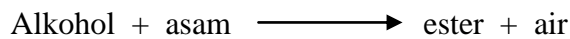
Dalam polimerisasi kationik monomer $\text{CH}_2=\text{CHX}$, pembawa rantai adalah ion karbanion. Melibatkan penyerangan monomer vinil oleh spesies/katalis asam (elektrofilik) dan katalis Friedel-craft, misalnya AlCl_3 , AlBr_3 , TiCl_4 , SnCl_4 , H_2SO_4 , dan asam kuat lainnya. Polimerisasi kation paling baik berlangsung pada suhu rendah dan sering kali terjadi pada monomer yang mengandung gugus pelepas elektron, sangat dipengaruhi oleh pelarut, dengan pelarut polar ion karbonium mengalami solvasi sehingga terjadi polimerisasi.

b. Polimerisasi anionik

Pada polimerisasi anion monomer $\text{CH}_2=\text{CHX}$ bertindak sebagai pembawa rantai. Polimerisasi anionik melibatkan penyerangan monomer oleh spesies (nukleofil) menghasilkan pemutusan ikatan rangkap membentuk karbanion. Polimerisasi anion paling baik berlangsung pada suhu rendah. Kestabilan karbanion ditingkatkan oleh gugus penarik elektron seperti gugus siano, nitro, fenil atau karbonil (Cowd, 1991).

4. Polimerisasi kondensasi

Polimerisasi kondensasi merupakan proses polimerisasi yang berulang secara bertahap, dari reaksi antara dua molekul bergugus fungsi banyak yang menghasilkan molekul besar disertai pelepasan molekul kecil seperti air melalui reaksi kondensasi.



Gambar 3. Salah satu reaksi polimerisasi kondensasi

Ciri-ciri polimerisasi kondensasi adalah:

1. Berlangsung secara bertahap melalui reaksi antara pasangan-pasangan gugus fungsi ujung.
2. Bobot molekul polimer bertambah secara bertahap sesuai dengan waktu reaksi.
3. Kereaktifan suatu gugus fungsi dalam bentuk polimernya sama dengan dalam bentuknya sewaktu sebagai monomer.
4. Dapat membentuk struktur cincin, bergantung pada keluwesan gugus yang terlibat dan ukuran cincin yang terbentuk.
5. Dapat membentuk polimer bercabang atau sambung silang apabila gugus fungsi kedua monomer lebih dari dua.
6. Dalam tahap tertentu terbentuk struktur jaringan, maka terjadi perubahan sifat polimer yang mendadak misalnya campuran reaksi berubah dari cairan menjadi bentuk gel.

7. Derajat polimerisasi dikendalikan dengan variasi waktu dan suhu.
8. Penghentian polimerisasi kondensasi dapat dilakukan dengan penambahan penghenti ujung seperti asam etanoat, penambahan salah satu monomer berlebih dan penambahan pada suhu tertentu (Cowd, 1991).

C. Fungsionalisasi Polimer

Untuk mendapatkan polimer yang memiliki sifat sesuai pemanfaatannya, maka seringkali dilakukan modifikasi melalui fungsionalisasi polimer, yaitu pemasukan gugus fungsi tertentu pada suatu polimer sebagai pembawa sifat baru pada polimer tersebut (Irwan *et al.*, 2002). Berbagai metode modifikasi yang telah dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat permukaan suatu polimer, antara lain dengan etsa kimia (*Chemical etching*), pengionan (*High energy ion implantation*), radiasi sinar x (Chan, 1994) dan *elektron beam* (He and Gu, 2003). Untuk tujuan tersebut, salah satu metode yang sedang dikembangkan adalah metode grafting (penempelan/pencangkakan) yang diketahui efisien untuk memodifikasi dan membuat polimer memiliki sifat-sifat yang diinginkan dalam aplikasinya.

Metode pencangkakan adalah penempelan suatu monomer yang berpolimerisasi pada permukaan suatu polimer dengan memanfaatkan suatu inisiator sebagai pemicu. (Irwan *et al.*, 2002). Pencangkakan umumnya terjadi pada titik-titik yang dapat menerima reaksi transfer, seperti pada karbon-karbon yang memiliki ikatan rangkap atau pada karbon-karbon yang mempunyai gugus karbonil (Stevens, 2001). Metode pencangkakan melibatkan pembentukan titik/pusat aktif berupa radikal bebas atau ion

terlebih dahulu pada polimer induk. Pembentukan pusat aktif pada polimer induk dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu metode kimia dan metode fisika. Dengan metode kimia, radikal terbentuk pada PE akibat abstraksi atom hidrogen oleh radikal inisiator seperti BPO (*dibenzoyl peroxide*), AIBN (*azobisisobutyronitrile*) atau bahan pengoksidasi seperti garam cerium (Moad *et al.*, 2003). Pembentukan pusat aktif dengan metode fisika dapat dilakukan dengan berbagai cara, meliputi radiasi laser, elektron beam, sinar UV, plasma dan radiasi energi tinggi seperti sinar gamma (γ) (El-Sawy and Sagheer, 2001).

Metode kopolimerisasi cangkok diketahui efisien untuk memodifikasi dan membuat polimer sehingga polimer akan memiliki sifat-sifat yang diinginkan dalam aplikasinya. Berbagai gugus fungsi dapat dimasukkan ke dalam suatu polimer dengan metode grafting dengan memilih jenis atau sifat yang dimiliki oleh monomer yang akan digrafting. Metode ini telah dimanfaatkan antara lain untuk amobilisasi enzim pada polimer (Ambrosio *et al.*, 1997), memberikan sifat kepekaan polimer terhadap suhu (Kubota *et al.*, 2000), meningkatkan adhesi antara logam dengan film oksida logam (Zou *et al.*, 2001), mengubah komposisi dan hidrofilitas permukaan polimer (Wang *et al.*, 2004) dan memberikan sifat kepekaan polimer terhadap pH (Irwan, 2005).

D. Polimerisasi Grafting Radikal Bebas

Mekanisme kopolimerisasi cangkok dengan radikal bebas umumnya melibatkan pembentukan pusat aktif radikal bebas pada polimer induk. Radikal bebas ini dapat dibentuk oleh inisiator, reagen kimia, dan radikal

energi tinggi. Dalam metode radiasi energi tinggi, radiasi memiliki energi yang cukup untuk menginduksi pemutusan ikatan atau rantai polimer atau molekul monomer yang menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas dapat terbentuk dari inisiator-inisiator radikal bebas yang dapat dikelompokkan ke dalam empat tipe utama yaitu peroksida dan hidroperoksida, senyawa azo, inisiator redoks, dan beberapa senyawa yang membentuk radikal-radikal dibawah pengaruh cahaya (fotoinisiator). Plasma juga merupakan inisiator yang berupa gas yang terionisasi secara parsial yang ditimbulkan melalui penembakan cahaya frekuensi radio. Polimerisasi dengan metode ini disebut polimerisasi plasma (Stevens, 2001).

Radikal yang terbentuk setelah diinisiasi kemudian bereaksi dengan rantai polimer induk. Situs radikal aktif yang terbentuk pada polimer induk akan menginisiasi polimerisasi monomer yang menghasilkan kopolimer grafting. Pertumbuhan rantai polimer akan berhenti akibat reaksi terminasi oleh radikal bebas yang berdekatan.

E. Kopolimerisasi Cangkok Radiasi gamma (γ)

Kopolimerisasi cangkok dengan radiasi gamma merupakan salah satu metode untuk memodifikasi bahan-bahan polimer. Metode ini telah banyak digunakan untuk menyiapkan membran selektif penukar ion (Hegazy *et al.*, 2001), membuat bahan elastomer, mengembangkan polimer yang ramah lingkungan, dan pengujian proses pembuatan membrane penukar ion. Pada teknik ini radiasi sinar gamma diperlukan untuk menginisiasi terjadinya proses polimerisasi.

Proses Kopolimerisasi cangkok dengan menggunakan radiasi gamma cenderung lebih cepat dan dapat bersaing langsung dengan homopolimerisasi dari monomer-monomer. Hal ini disebabkan radiasi energi tidak selektif, efisiensi pencangkokan didapat hanya jika polimer substrat dapat berinteraksi lebih cepat dengan radiasi gamma dibandingkan dengan monomer (Dworjanyn *et al.*, 1993). Selain itu teknik ini juga memiliki keuntungan yaitu minimnya kontaminan zat kimia pada polimer induk. Modifikasi polimer dengan teknik ini dapat dilakukan pada polimer berbentuk film/membran, karena teknik ini tidak terpengaruh oleh masalah reologi polimer yang mungkin timbul sebagai akibat gugus yang dicangkokkan pada sampel.

Kopolimerisasi cangkok dengan teknik radiasi gamma merupakan metode modifikasi polimer dengan cara induksi radiasi. Teknik ini terbagi menjadi dua metode yaitu metode langsung atau metode bersamaan (*mutual or simultaneous*) dan tidak langsung atau metode iradiasi awal (*preirradiation*). Metode simultan adalah metode pencangkokan yakni monomer dan substrat polimer yang akan digrafting terletak bersama-sama pada saat tabung kopolimerisasi diradiasi dengan energi tinggi (sinar gamma). Metode ini sangat baik untuk kombinasi antara polimer yang sangat sensitif terhadap radiasi. Sensitifitas ini biasanya diukur dengan nilai G radikal, yang menunjukkan jumlah radikal bebas yang terbentuk per 100 eV energi yang terserap pergram monomer atau polimer. Makin besar nilai G radikal maka akan semakin mudah atau semakin banyak radikal yang dapat terbentuk dari

suatu monomer atau polimer. Tabel 1 memperlihatkan beberapa nilai G radikal untuk monomer-monomer atau polimer-polimer yang umum.

Tabel 1. Nilai G radikal untuk beberapa monomer dan polimer (Stevens, 2001).

Monomer	G radikal	Polimer	G radikal
Butadiena	Sangat rendah	Polibutadiena	2,0
Stirena	0,70	Polistirena	1,5 – 3
Etilena	4,0	Polietilena	6 – 8
Metil metakrilat	5,5 – 11,5	Poli(metil metakrilat)	6 – 12
Vinil klorida	10,0	Poli(vinil klorida)	10 - 15

Pada proses iradiasi awal, substrat polimer diradiasi terlebih dahulu dengan sumber energi tinggi untuk menghasilkan proses kopolimerisasi kondensasi (Stannet, 1990). Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode iradiasi awal karena metode ini dapat mengurangi terbentuknya homopolimer yang berlebihan.

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses kopolimerisasi cangkok

Keberhasilan proses kopolimerisasi cangkok sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain konsentrasi monomer. Umumnya semakin tinggi konsentrasi suatu monomer maka hasil grafting semakin meningkat (Irwan *et al.*, 2002).

Konsentrasi monomer memberi pengaruh pada persen grafting karena berkaitan dengan difusibilitas monomer atau kemampuan monomer berdifusi ke dalam matriks polimer. Umumnya, difusibilitas monomer akan meningkat

dengan meningkatnya konsentrasi monomer. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya konsentrasi monomer pada daerah situs aktif polimer.

Konsentrasi monomer yang tinggi juga dapat meningkatkan viskositas dan terbentuknya homopolimer. Peningkatan viskositas larutan polimer atau peningkatan pembentukan homopolimer dapat menghalangi difusi monomer ke dalam substrat polimer (Nasef and Hegazy, 2004). Homopolimerisasi adalah peristiwa polimerisasi monomer dengan monomer sejenisnya.

Aspek lain yang berkaitan erat dengan proses kopolimerisasi cangkok adalah suhu. Suhu grafting memberikan pengaruh secara bersamaan terhadap laju atau kecepatan propagasi dan kecepatan terminasi rantai yang merupakan kontrol pada proses difusi monomer. Hal itu menunjukkan bahwa laju dapat meningkat atau menurun tergantung pada kecepatan reaksi propagasi, sedangkan kecepatan terminasi menjadi tahap pengontrol laju pencangkokan. Dengan demikian, semakin tinggi suhu, kecepatan terminasi rantai juga semakin meningkat. (Irwan *et al.*, 2002a; Nasef *et al.*, 2004).

Selain konsentrasi monomer dan suhu, proses kopolimerisasi cangkok juga dipengaruhi oleh waktu. Waktu yang sangat mempengaruhi keleluasaan pusat aktif untuk bereaksi dengan monomer dan difusi monomer ke matriks polimer. Proses kopolimerisasi cangkok akan meningkat dengan semakin bertambahnya waktu reaksi. Hal ini disebabkan radikal bebas masih lebih banyak dan lebih berleluasa untuk bereaksi dengan monomer (Irwan *et al.*, 2002a; Nasef *et al.*, 2004).

Faktor lainnya yang turut berperan dalam proses kopolimerisasi cangkok adalah pengaruh pelarut, dimana pelarut merupakan media pembawa yang dapat mempengaruhi proses difusi monomer ke dalam bagian aktif matriks polimer. Selain itu, pelarut seperti halnya pelarut organik dapat mengembungkan (*swelling*) polimer sehingga meningkatkan laju pencangkakan. Konsentrasi pelarut yang berlebihan diketahui dapat meningkatkan pembentukan homopolimer sehingga menurunkan laju pencangkakan (Irwan *et al.*, 2002b).

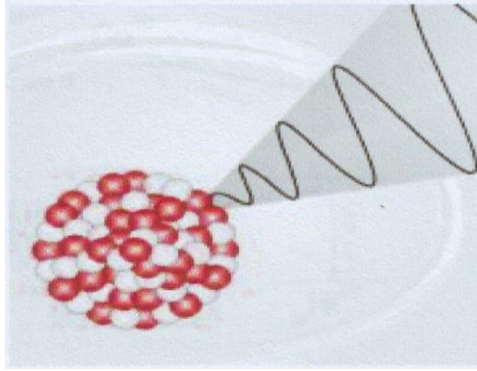
2. Aplikasi metode pencangkakan

Metode pencangkakan telah banyak dimanfaatkan untuk modifikasi polimer alam dan polimer sintetik (polimer organik). Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan, metode pencangkakan telah dimanfaatkan antara lain mengubah komposisi dan hidrofilitas permukaan polimer (Wang and Brown, 2004), meningkatkan adhesi antara logam dengan film oksida logam (Zou *et al.*, 2001), amobilisasi enzim pada polimer (Ambrosio *et al.*, 1997), memasukkan gugus peroksida (Ogiwara *et al.*, 1979; Ranganathan *et al.*, 1999), memberikan sifat kepekaan polimer terhadap perubahan suhu (Nakajima *et al.*, 2000), memberikan sifat kepekaan polimer terhadap perubahan pH (Islam *et al.*, 1992; Irwan *et al.*, 2005), sifat katalis (Kubota, 1992; Irwan *et al.*, 2005), dan sifat penukar ion (Omichi *et al.*, 1985; El-Sayed *et al.*, 1997; Maziad *et al.*, 2002; Irwan *et al.*, 2002a; Irwan *et al.*, 2004b).

F. Sinar Gamma

Sumber radiasi pengion yang banyak dipakai dalam industri adalah sinar gamma dari isotop radioaktif dan mesin pemercepat elektron. Salah satu sumber sinar gamma yang banyak digunakan adalah isotop Co-60. Selain isotop Co-60, sumber radiasi lain yang sering dipakai adalah isotop Cs-137. Co-60 mengemisikan 2 jenis sinar gamma dengan tingkat energi 1,17 dan 1,33 MeV, dan waktu paruh ($t_{1/2}$) 5,27 tahun. Untuk itu kalibrasi laju dosis harus dilakukan dalam selang waktu tertentu, karena Co-60 mengalami penurunan aktivitas akibat peluruhan. Sumber radiasi Cs-137 mengemisikan sinar gamma dengan energi yang lebih rendah dibandingkan Co-60, yakni sebesar 0,66 MeV dengan waktu paruh 30 tahun. Karena energinya yang rendah, Cs-137 jarang digunakan dalam industri, lebih banyak untuk penelitian yang memerlukan laju dosis rendah (Wulandari, 2007).

Sinar gamma (dinotasikan dengan γ) adalah sebuah bentuk energi dari radiasi elektromagnetik yang diproduksi oleh radioaktivitas atau proses nuklir atau subatomik lainnya seperti penghancuran elektron-positron (http://id.wikipedia.org/wiki/sinar_gamma). Sinar gamma merupakan partikel atau foton berenergi sangat tinggi, tidak bermuatan dan memiliki daya tembus yang besar bila dibandingkan dengan radiasi α atau β , tetapi sinar ini kurang mengionisasi. Dalam mengionisasi, radiasi gamma berinteraksi dengan bahan melalui tiga proses utama, yaitu absorpsi fotoelektrik, hamburan Compton dan tabrakan dengan atom menghasilkan elektron dan positron.

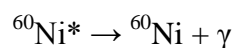


Gambar 4. Radiasi sinar gamma
(Anonim, <http://aktifisika Wordpress.Com/2008/11/17>)

Sinar gamma ditemukan oleh Paul Ulrich Villard (1900), ketika sedang mempelajari Uranium. Pada tahun 1990-an gamma diasumsikan sebagai partikel, baru pada tahun 1910 gamma didefinisikan sebagai sinar yang didemonstrasikan oleh William Henry Bragg. Sinar γ sering dihasilkan bersamaan dengan pembentukan radiasi seperti α dan β . Saat nukleus memancarkan partikel α atau β , elektron kadang berpindah ke daerah eksitasi, karena daerah ini tidak stabil maka elektron cenderung untuk kembali ke daerah asal dengan emisi sinar γ . Contoh dari peluruhan sinar gamma adalah peluruhan ^{60}Co . Pertama-tama, ^{60}Co meluruh menuju ^{60}Ni eksitasi:



Kemudian ^{60}Ni diletakkan dalam daerah dasar oleh emisi 2 sinar gamma:



Sinar gamma yang dihasilkan sebesar 1,17 MeV dan 1,33 MeV.

Sinar γ digunakan dalam berbagai aplikasi kedokteran seperti untuk sterilisasi peralatan kedokteran, CT scan dan terapi radiasi, serta mendeteksi beberapa tipe kanker. Selain itu sinar γ juga dapat digunakan untuk membunuh bakteri

dan insekta pada bahan makanan dan pada bidang polimer yakni sebagai inisiator untuk membentuk radikal. Tetapi, sinar ini bila digunakan atau terkena dalam dosis yang berlebihan dapat menyebabkan kematian.

G. 4-vinil Piridin (4VP)

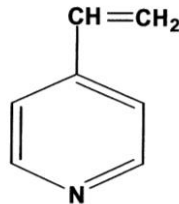
Monomer merupakan bahan baku polimer. Berdasarkan sifatnya monomer dibagi menjadi dua jenis yakni monomer hidrofobik dan monomer hidrofilik. Monomer hidrofobik contohnya adalah glisidil metakrilat (GMA) dan metil metakrilat (MMA), sedangkan yang termasuk monomer hidrofilik adalah akrilonitril (AN), asam metakrilat, asam akrilat (AA) dan 4-vinil piridin (4VP).

Vinil Piridin merupakan senyawa yang memiliki sifat yang menarik karena adanya atom nitrogen pada cincin piridin. Atom nitrogen yang bersifat basa lemah pada cincin piridin memungkinkan terjadinya berbagai reaksi pada vinil piridin seperti dengan asam, quarternisasi dan pembentukan kompleks dengan metal (Belfoire, 1995). Struktur elektronik vinil piridin adalah mirip dengan stiren, sehingga kemampuan berpolimerisasi secara radikal dari kedua monomer dapat dianggap sebanding. Namun demikian adanya heteroatom pada cincin piridin menghasilkan implikasi mekanisme yang menarik melalui polimerisasi anionik atau koordinasi (Kroschwitz, 1990).

Senyawa 4-VP merupakan monomer yang mempunyai sifat yang menarik karena adanya atom nitrogen pada cincin piridin. Sifatnya sebagai basa lemah memungkinkan untuk membentuk kompleks dengan ion-ion logam seperti Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Ru^{2+} dan Zn^{2+} . Senyawa 4-VP adalah cairan berwarna kuning

kemerahan, larut dalam air dan pelarut organik polar serta baunya menyengat.

Rumus struktur 4-VP ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 5. Struktur 4 Vinil Pridin

Gugus piridin dari senyawa 4-VP bersifat reaktif, dapat membentuk kompleks dengan ion tembaga, mangan, besi, nikel, cadmium, dan timbal (El-Sayed *et al.*, 1997). Penelitian lainnya melaporkan bahwa 4-vinil piridin memiliki kemampuan dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Juan *et al.*, 2000; Tiller *et al.*, 2002; Cen *et al.*, 2004). Senyawa 4-VP adalah bahan kimia yang sangat berguna dan dapat dimodifikasi dengan polimerisasi untuk pembentukan molekular kompleks. Karakteristik ini memungkinkan suatu reaksi yang luas untuk suatu daerah polimer. Senyawa 4-VP dengan mudah mengalami polimerisasi ketika terkena panas, cahaya, logam dan karena itu inhibitor ditambah pada 4-VP seperti turunan hidrokuinon untuk mencegah polimerisasi. Senyawa ini dapat pula dianggap sebagai turunan etilen dimana satu atom hidrogen digantikan dengan gugus piridin.

Penelitian mengenai pencangkakan 4-VP telah banyak dilakukan antara lain, Odian (Odian *et al.*, 1980) yang telah berhasil mencangkakan 4-VP pada film polietilen secara simultan dengan kadar pencangkakan terbesar sebesar 10%.

Kaur dan kawan-kawan (1994) mencangkakan campuran 4-VP dan metakrilonitril

pada serat polipropilen dengan metode pra-iradiasi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kadar pencangkakan(% DG) makin tinggi dengan adanya metakrilonitril. Selain itu Yulita juga telah berhasil mencangkakan 4-VP pada serat polipropilen dengan metode peroksidasi secara iradiasi dengan kadar pencangkakan terbesar adalah 31,04% (Yulita *et al.*, 1995). Sifat fisik dan kimia dari 4-VP ditunjukkan oleh tabel 2 berikut:

Tabel 2. Sifat-sifat fisik dan kimia 4- vinil piridin

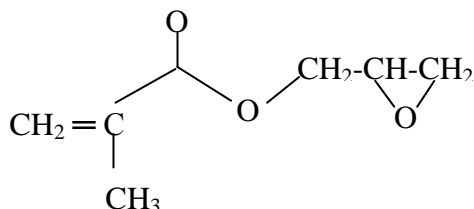
Sifat	Nilai
Berat molekul (gr/mol)	105,14
Titik didih ($^{\circ}\text{C}$)	121 pada 20 kpa
Titik beku ($^{\circ}\text{C}$)	-
Titik <i>Flash</i> ($^{\circ}\text{C}$)	53
Berat spesifik (20/20 $^{\circ}$)	0,988
Indeks refraksi (n_D^{20})	1,5500
Kelarutan	2,9 gr/100 gr air pada 20 $^{\circ}\text{C}$
Kemurnian (GC%)	29 min
Pengembunan (%)	1 max
LD50 Oral Rat (mg/kg)	100

(Anonim, <http://www.koeichem.com/newproducts/6401.html>)

H. Glisidil Metakrilat (GMA)

Monomer glisidil metakrilat (GMA) mengandung dua gugus sekaligus, yaitu gugus epoksi dan gugus vinil. Adanya kedua gugus ini dapat memberikan

keluwesan pada penggunaan GMA dalam mendesain polimer (Anonim, http://en.wikipedia.org/wiki/glycidyl_metakrilat).



Gambar 6: Struktur Glisidil Metakrilat (GMA)

Gugus vinil dan epoksi dalam GMA dapat difungsionalisasi, ini berarti kedua gugus tersebut dapat bereaksi dengan berbagai macam monomer dan molekul fungsional. Fungsionalisasi kedua gugus ini dapat memberikan karakteristik tambahan pada GMA. Secara umum, fungsionalisasi gugus vinil dapat memberikan manfaat tambahan berupa peningkatan kekuatan terhadap oksidasi, sedangkan reaksi pada gugus epoksi dapat meningkatkan ketahanan terhadap asam. Sifat fisik dan kimia glisidil metakrilat ditunjukkan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Sifat fisik dan kimia glisidil metakrilat

Sifat	Nilai
Bentuk	Cairan tidak berwarna
Titik didih pada 760 mmHg	189°C
Berat molekul	142,1546 g/mol
Tekanan uap pada 25°C	0,33 mm Hg
Titik api	85°C

Viskositas pada 15,50 C	2,7 Cps
Konduktivitas listrik (mikrosiemen/cm)	<1
Densiti pada 25°C	1,07 g/cm ³

(Anonim, http://en.wikipedia.org/wiki/glycidyl_metakrilat).

Penelitian mengenai pencangkakan glisidil metakrilat telah banyak dilakukan antara lain, Dieni lansi yang telah berhasil mencangkok glisidil metakrilat pada serat rayon asam fosfat dengan kadar pencangkakan terbesar 15,9% (Dieni, 2004) serta Irwan dan Wasinton (Irwan dan Wasinton, 2007) yang telah berhasil mencangkok glisidil metakrilat pada polietilen dengan metode fotografiting.

I. Polietilen (PE)

Polietilen merupakan salah satu polimer sintetik yang paling banyak digunakan secara komersial dalam masyarakat karena sifat yang dimilikinya yaitu tahan terhadap zat kimia dan benturan, mudah dibentuk dan dicetak, dan memiliki harga yang murah. Polietilen merupakan bahan dasar dalam pembuatan industri plastik komiditi (Stevens, 2001). Polietilen dalam penggolongan sifat polimer termasuk dalam golongan polimer termoplastik, yaitu bahan plastik yang apabila dipanaskan dan dikenakan tekanan akan meleleh, sehingga mudah dibentuk, sedangkan apabila sudah menjadi padat dapat diproses kembali, atau dengan kata lain plastik ini dapat diproses ulang. Bila polietilen telah membentuk ikatan silang maka polietilen termasuk dalam golongan polimer *termosetting*, yaitu bahan plastik yang jika dikenakan panas dan tekanan dapat dibentuk tetapi tidak dapat diolah kembali, atau dengan perkataan lain bahan plastik ini hanya dapat diolah sekali saja.

Kelarutan polietilen pada pelarut organik cukup baik, terutama pelarut yang mempunyai gugus benzen, seperti halnya pada pelarut p-xylene atau toluena. Sedangkan dalam pelarut organik yang agak polar seperti halnya pelarut TCB (Trikloro Benzena) kurang begitu baik.

Polietilen pertama kali dibuat oleh Fawcett dan Gibson dari Imperial Chemical Industries Ltd (Inggris) pada tahun 1933 dengan menggunakan teknik tekanan tinggi yaitu pada suhu 250°C dan tekanan antara 1000-3000 atm. Reaksi polimerisasi yang digunakan adalah radikal bebas dengan menggunakan senyawa peroksida, azo, dan sejumlah kecil oksigen sebagai inisator. Polietilen yang dibuat dengan teknik tekanan tinggi akan menghasilkan polietilen bercabang. Namun, pada tahun 1953 Karl Ziegner melakukan polimerisasi etana pada tekanan sedikit di atas tekanan atmosfer dengan menggunakan katalis organologam akan menghasilkan polimer lurus yang memiliki derajat polimerisasi lebih tinggi (Cowd, 1991).

Polietilen tidak larut dalam pelarut apapun pada suhu kamar, tetapi mengembang pada hidrokarbon dan tetraklorometana, tahan terhadap asam dan basa kecuali pada nitrat pekat, rentan terhadap cahaya dan oksigen.

Polietilen dapat dibedakan menjadi empat (Billmeyer and Fred, 1971) yaitu:

1. Polietilen dengan densitas tinggi atau *High Density Polyethylene* (HDPE)

Merupakan molekul tidak bercabang dengan derajat kristalinitasnya antara 85-95%. HDPE mempunyai densitas $0,95 - 0,97 \text{ g/cm}^3$, titik leleh sekitar 135°C .

HDPE lebih kaku dan keras, serta tahan korosi. HDPE banyak digunakan

sebagai botol, dinding pelapis tahan korosi, barang-barang rumah tangga, dan pipa (Henri, 1982).

2. Polietilen dengan densitas rendah atau *Low Density Polyethylene* (LDPE).

Polimer ini terdiri dari konsentrasi substansi cabang yang dapat menghindari proses kristalisasi menghasilkan densitas yang relatif rendah. LDPE mempunyai densitas $0,912 - 0,94 \text{ g/cm}^3$, titik leleh $102 - 107 \text{ }^\circ\text{C}$, dan amorphous. Aplikasi LDPE adalah mainan anak-anak, dan tempat penyimpanan makanan.

3. Polietilen linear dengan densitas rendah atau *Linear Low Density Polyethylene*

(LLDPE) adalah resin yang terdiri dari molekul dengan tulang punggung polietilen linear yang ditempel dengan gugus alkil pendek secara random. LLDPE memiliki densitas $0,92 - 0,90 \text{ g/cm}^3$.

4. Polietilen dengan densitas sangat rendah atau *Very Low Density Polyethylene*

(VLDPE), yaitu polietilen dengan densitas ultra rendah, secara khusus dibentuk dari polietilen linear densitas rendah dimana memiliki konsentrasi cabang rantai pendek lebih tinggi. Polietilen ini memiliki densitas $0,86 - 0,90 \text{ g/cm}^3$.

J. Bakteri

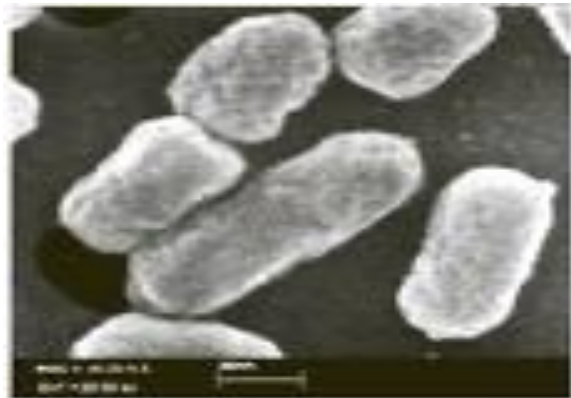
Mikroorganisme adalah organisme berukuran sangat kecil atau mikroskopis, hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Dunia organisme terdiri dari lima kelompok organisme yaitu bakteri, protozoa, virus, alga, dan jamur mikroskopis (Pelezar dan chan, 1986).

Bakteri merupakan organisme hidup bersel tunggal, tidak memiliki klorofil, dan memiliki DNA dan RNA. Bakteri dapat melakukan metabolisme, tumbuh dan berkembang biak. Sebagian besar bakteri berukuran sangat kecil misalnya kokus bergaris tengah 1μ sehingga tidak dapat dilihat oleh mata telanjang. Lapisan terluar bakteri terdiri dari dua komponen yakni dinding sel yang kaku dan membran sitoplasma atau membrane plasma. Di dalamnya terdapat sitoplasma seperti ribosom, mesosom, granula, vakuola, dan inti sel. Sel bakteri dapat diliputi oleh lapisan berupa gel yang mudah lepas atau tersusun sebagai suatu simpai. Selain itu beberapa bakteri juga mempunyai struktur tumbuhan lain seperti filamen yang menonjol keluar dari permukaan sel yaitu flagella yang berfungsi sebagai alat penggerak dan fimbria sebagai alat untuk melekatkan diri (Gupte, 1990).

Di alam terdapat ribuan jenis bakteri dan setiap jenis mempunyai sifat-sifat sendiri. Sebagian besar dari jenis bakteri tersebut tidak berbahaya bagi manusia, bahkan ada yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia seperti bakteri pencernaan, *Lactobacillus bulgaricus* yang digunakan dalam pembuatan youghurt, dan lain-lain (Alaerts dan Santika, 1984). Tetapi juga terdapat bakteri yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia (bersifat patogen) seperti *Escherihcia coli*, *Salmonella thypimurium* (bakteri gram negatif) yang menyebabkan keracunan pada makanan dan *bacilus subtilis* (bakteri gram positif).

K. Bakteri *Escherichia coli*

Escherichia coli merupakan salah satu spesies bakteri yang umumnya hidup pada usus manusia atau binatang, yang dikenal sebagai *gut flora*. *Escherichia coli* ditemukan pada tahun 1885 oleh Theodo Escherich. *Escherichia coli* berbentuk batang pendek gemuk berukuran panjang $2,4 \mu$ X $0,4-0,7 \mu$, dan lebar $1,1-1,5 \mu$, biasanya hidup sendiri-sendiri atau berpasangan, tidak bersimpai, bergerak aktif, tidak berspora, dan termasuk dalam bakteri gram negatif (<http://en.wikipedia.org/wiki/Escherichia>).



Gambar 7. Struktur morfologi bakteri *Escherichia coli*
([http://id.wikipedia.org/wiki/Escherichia coli](http://id.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli))

Dalam taksonomi mikrobiologi, kedudukan *Escherichia coli* adalah:

Divisio: Protophyta

Kelas : Schizomycetes

Ordo : Eubacteriales

Genus : *Escherichia*

Spesies: *Escherichia coli*

Escherichia coli bersifat aerob atau anaerob fakultatif dan tumbuh pada suhu antara 10-40°C dengan suhu optimum pertumbuhan ialah 37°C. Pertumbuhan optimum akan terjadi pada pH 7,0-7,5 minimum pada pH 4,0 dan maksimum pada pH 9,0. Bakteri *Escherichia coli* dapat meragi laktosa, glukosa, sukrosa, maltosa dan manitol dengan membentuk asam dan gas. Bakteri ini dapat menggunakan asetat sebagai sumber karbon, tetapi tidak dapat menggunakan sitrat. *Escherichia coli* tidak dapat menghidrolisis urea dan tidak dapat membentuk H₂S (Smith *et al*, 1964 dalam Winarni, 1996). Bakteri ini dapat tahan berbulan-bulan pada tanah dan dalam air, tetapi dapat dimatikan dengan pemanasan pada suhu 60°C selama 20 menit dan jika diberi klorin dalam kadar 0,5-1 ppm.

Bakteri *Escherichia coli* bersifat patogen (dapat menyebabkan berbagai macam penyakit) seperti gastroenteritis pada bayi yang dapat berakibat fatal, infeksi saluran kemih, infeksi luka, kolesistis, meningitis dan septikimia (Gupte, 1990).

L. Bakteri *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan salah satu bakteri penyebab keracunan makanan (*foodborne diseases*). *Staphylococcus* (dalam bahasa Yunani *staphyle* berarti sekelompok anggur dan *coccus* yang berarti granula) adalah genus dari bakteri gram positif. Di mikroskop mereka tampak berbentuk bulat serta bergerombol seperti sekelompok anggur.

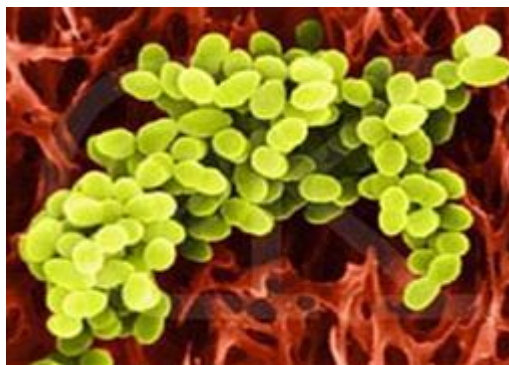
Dalam taksonomi mikrobiologi, kedudukan *Staphylococcus aureus* adalah :

Kingdom : Monera

Divisio : Firmicutes

Class : Bacilli
Order : Bacillales
Family : Staphylococcaceae
Genus : Staphilococcus
Species : *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan bakteri Gram Positif, tidak bergerak, tidak berspora dan mampu membentuk kapsul (Boyd, 1980), berbentuk kokus dan tersusun seperti buah anggur (Todar, 2002) sebagaimana terlihat pada gambar 9. Ukuran *Staphylococcus aureus* berbeda-beda tergantung pada media pertumbuhannya. Apabila ditumbuhkan pada media agar, *Staphylococcus aureus* memiliki diameter 0,5-1,0 mm dengan koloni berwarna kuning. Dinding selnya mengandung asam teikoat, yaitu sekitar 40% dari berat kering dinding selnya. Asam teikoat adalah beberapa kelompok antigen dari *Staphylococcus aureus*. Asam teikoat mengandung aglutinogen dan N-asetilglukosamin (Boyd, 1980).



Gambar 8. Gambar *Staphylococcus aureus*
(<http://id.wikipedia.org/wiki/staphylococcus>)

Staphylococcus aureus adalah bakteri aerob dan anaerob, fakultatif yang mampu menfermentasikan manitol dan menghasilkan enzim koagulase, fosfatase, protease

dan lipase. *Staphylococcus aureus* mengandung lysostaphin yang dapat menyebabkan lisisnya sel darah merah. Toksin yang dibentuk oleh *Staphylococcus aureus* adalah haemolysin alfa, beta, gamma, delta dan epsilon. Toksin lain ialah leukosidin, enterotoksin dan eksfoliatin. Enterotoksin dan eksoenzim dapat menyebabkan keracunan makanan terutama yang mempengaruhi saluran pencernaan. Leukosidin menyerang leukosit sehingga daya tahan tubuh akan menurun. Eksfoliatin merupakan toksin yang menyerang kulit dengan tanda-tanda kulit terkena luka bakar (Boyd, 1980; Schlegel dan Schmidt, 1994). Suhu optimum untuk pertumbuhan *Staphylococcus aureus* adalah 35°C – 37°C dengan suhu minimum 6,7°C dan suhu maksimum 45,4°C. Bakteri ini dapat tumbuh pada pH 4,0 – 9,8 dengan pH optimum 7,0 – 7,5. Pertumbuhan pada pH mendekati 9,8 hanya mungkin bila substratnya mempunyai komposisi yang baik untuk pertumbuhannya. Bakteri ini membutuhkan asam nikotinat untuk tumbuh dan akan distimulir pertumbuhannya dengan adanya thiamin. Pada keadaan anaerobik, bakteri ini juga membutuhkan urasil. Untuk pertumbuhan optimum diperlukan sebelas asam amino, yaitu valin, leusin, threonin, phenilalanin, tirosin, sistein, metionin, lisin, prolin, histidin dan arginin. Bakteri ini tidak dapat tumbuh pada media sintetik yang tidak mengandung asam amino atau protein (Supardi dan Sukanto, 1999). *Staphylococcus aureus* hidup sebagai saprofit di dalam saluran-saluran pengeluaran lendir dari tubuh manusia dan hewan-hewan seperti hidung, mulut dan tenggorokan dan dapat dikeluarkan pada waktu batuk atau bersin. Bakteri ini juga sering terdapat pada pori-pori dan permukaan kulit, kelenjar keringat dan saluran usus. Selain dapat menyebabkan intoksikasi, *Staphylococcus aureus* juga dapat menyebabkan bermacam-macam infeksi

seperti jerawat, bisul, meningitis, osteomielitis, pneumonia dan mastitis pada manusia dan hewan. (Supardi dan Sukamto, 1999).

M. Antibakteri

Antibakteri adalah zat yang dapat digunakan sebagai pembasmi bakteri khususnya yang merugikan manusia. Berdasarkan toksisitas selektif, ada antibakteri yang bersifat menghalangi pertumbuhan bakteri yang dikenal sebagai bakteriostatik, contohnya tetracycline, sulfonamida, dan chloramphenicol. Sedangkan antibakteri yang bersifat membunuh bakteri dikenal sebagai bakterisidal. Contohnya penicilin, streptomycine, polymixin (Vincent, 1987).

Uji aktivitas antibakteri terdiri dari dua metode utama yaitu:

1. Metode difusi

Pada metode difusi ini zat antibakteri akan berdifusi ke dalam lempeng agar yang telah ditanami bakteri. Pelaksanaan teknik ini secara umum adalah dengan menginokulasikan kuman secara merata diseluruh permukaan media agar, kemudian sampel yang diuji ditempatkan diatas permukaan tersebut. Setelah inkubasi, selama 18 - 24 jam, 37°C akan terbentuk zone hambat disekelilingnya reservoir sampel. Pengamatan berdasarkan ada atau tidaknya zona hamabatan pertumbuhan bakteri disekeliling cakram. Ada tiga macamnya teknik difusi, yaitu:

a. Cara parit.

Pada media agar yang ditanami bakteri dibuat parit yang kemudian diisi dengan larutan yang mengandung zat antibakteri dan diinkubasi selama 18 -

24 jam pada suhu 37°C. kemudian dilihat ada atau tidaknya zona hambatan disekeliling parit (Balsam and Sagarin, 1972; Jawetz *et al.*, 1986).

b. Cara lubang atau sumuran

Pada media agar yang ditanami bakteri dibuat lubang atau dengan meletakkan silinder besi tahan karat pada medium agar yang kemudian diisi dengan larutan yang mengandung zat antibakteri dan diinkubasikan selama 18 – 24 jam pada suhu 37°C dan dilihat ada atau tidaknya zona hambatan disekeliling silinder (Balsam and Sagarin, 1972; Jawetz *et al.*, 1986).

c. Cara cakram

Pada media agar yang ditanami bakteri diletakkan diatas kertas cakram yang mengandung zat antibakteri dan diinkubasikan selama 18 – 24 jam pada suhu 37°C, kemudian dilihat ada atau tidaknya zona hambatan disekeliling cakram. Cara lubang maupun cara cakram terdapat persamaan dimana larutan akan berdifusi secara tiga dimensi. Sedangkan pada cara parit, sampel hanya berdifusi secara dua dimensi (Jawetz *et al.*, 1986).

Faktor-faktor yang mempengaruhi metode difusi adalah:

a. Ketebalan agar.

Ketebalan lapisan agar yang sedikit saja bervariasi akan menghasilkan efek dan besar zona yang jauh berbeda. Oleh karena itu diperlukan persamaan dalam tebalnya lapisan agar. Cawan petri yang digunakan harus benar-benar rata dan agar harus dituang pada posisi yang tepat.

b. Komposisi dari media agar

Media agar mempengaruhi besarnya zona hambatan dalam 3 cara yaitu: mempengaruhi aktivitas suatu antibakteri, mempengaruhi kecepatan difusi suatu sampel antibakteri, mempengaruhi kecepatan pertumbuhan bakteri. Aktivitas dari antibakteri dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti adanya kation dalam media, pH dari media dan adanya bermacam-macam zat antagonis. Kecepatan difusi dari obat ditentukan oleh kadar dari agar, kadar beberapa ion dalam media dan perpanjangan pengikatan elektrostatik antar sampel dan group yang terionisasi di dalam media agar. Viskositas dari media juga mempengaruhi kecepatan difusi dan hal ini tergantung juga pada waktu inkubasi. Kapasitas nutrisi dari media agar sangat ditentukan oleh panjangnya fasa lag dan waktu pertumbuhan untuk bakteri yang diteliti.

c. Konsentrasi inokulum

Konsentrasi inokulum yang besar akan memperkecil zona hambatan, sebab masa kritis sel akan tercapai dengan cepat.

d. Suhu

Suhu harus sesuai dengan suhu optimal untuk pertumbuhan bakteri pada 37°C. Bila tidak sesuai maka akan mengakibatkan kecepatan pertumbuhan bakteri tidak sesuai sehingga jumlah bakteri yang diinginkan tidak akan tercapai. Suhu inkubasi yang rendah dapat memperbesar zona hambatan karena akan memperlambat pertumbuhan bakteri atau dapat juga memperkecil zona hambatan karena difusi sampel antibakteri berjalan lambat. Tetapi efek memperbesar zona hambatan lebih dominan.

e. Waktu inkubasi

Lamanya waktu inkubasi harus merupakan waktu minimal yang diperlukan pertumbuhan normal dari bakteri percobaan. Perpanjangan waktu dapat menurunkan aktivitas dan dapat pula menimbulkan muatan resisten.

2. Metode Dilusi

Metode ini biasanya digunakan untuk menentukan Konsentrasi Hambat Minimum (KHM) sampel antibakteri terhadap bakteri uji. Metode dilusi ini dilakukan dengan mencampurkan zat antibakteri dengan media yang kemudian diinokulasikan dengan bakteri. Pengamatannya dengan melihat ada atau tidaknya pertumbuhan bakteri (Lorian, 1980). Berdasarkan media yang digunakan dalam percobaan, metode ini dibagi menjadi dua yaitu

a. Penipisan lempeng agar.

Zat antibakteri yang akan diuji dilarutkan lebih dahulu dalam air suling steril atau dalam pelarut steril lain yang sesuai. Kemudian dilakukan dengan pengenceran secara serial dengan kelipatan dua sampai kadar terkecil yang dikehendaki. Hasil pengenceran dicampur dengan medium agar yang telah dicairkan kemudian didinginkan pada suhu 45°C sampai 50°C. Setelah itu dituang ke dalam cawan petri steril, dibiarkan dingin dan membeku. Lalu diinkubasikan pada suhu 37°C selama 30 menit. Pada tiap cawan petri diinokulasikan dengan suspensi kuman yang mengandung kira-kira 10^5 sampai 10^6 sel kuman/ml. Untuk setiap seri pengenceran digunakan kontrol negatif (Jawetz *et al.*, 1986; Lorian, 1980).

b. Pengenceran tabung.

Zat antibakteri dilarutkan dalam pelarut yang sesuai, kemudian diencerkan dengan kaldu berturut-turut pada tabung-tabung yang disusun dalam satu deret terkecil yang dikehendaki, dengan metode Kerby Bauwer yang dimodifikasi. Tiap tabung yang berisi 1 ml campuran dengan berbagai kadar tersebut diinokulasikan dengan suspensi kuman yang mengandung kira-kira 10^5 sampai 10^6 sel kuman/ml. Diinkubasikan selama 18 sampai 24 jam pada suhu 37°C . Sebagai kontrol digunakan paling sedikit satu tabung cair dengan inokulum bakteri tersebut. Kedua cara diatas biasanya digunakan dalam penentuan Kadar Hambat minimal (KHM) (Lorian, 1980; Case and Johnson, 1984).

N. Karakterisasi 4 Vinil Piridin dan glisidil metakrilat yang terikat pada Polietilen

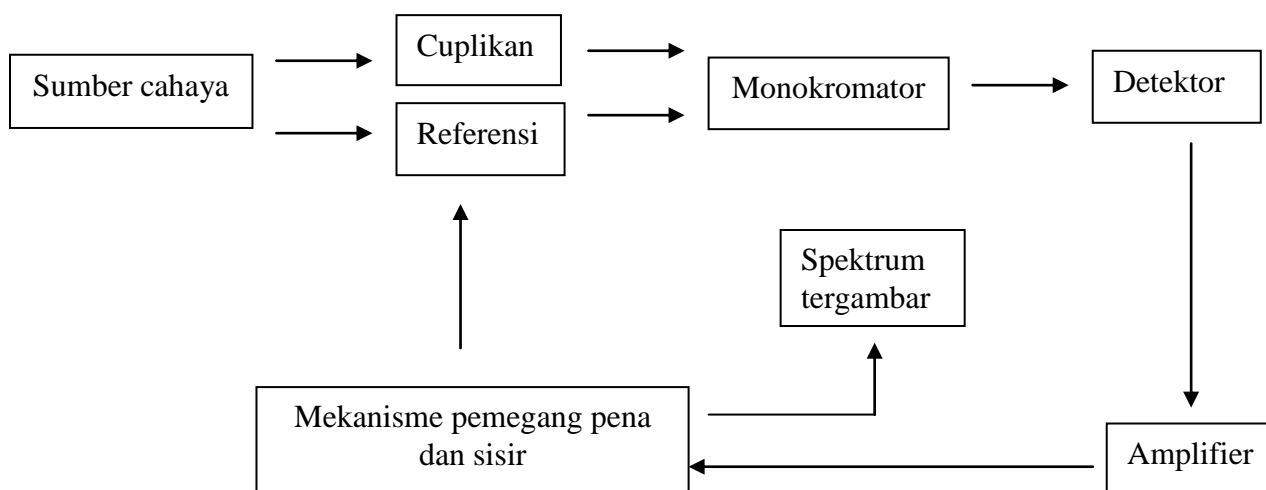
Dari berbagai tahapan proses grafting yang dilakukan pada sampel diyakini dapat mengakibatkan terjadinya perubahan karakteristik sampel, sehingga diperlukan sejumlah karakterisasi untuk mengevaluasi perubahan-perubahan yang terjadi pada sampel.

1. Karakterisasi sample menggunakan Spektroskopi Infra Merah (FT-IR)

Prinsip penggunaan spektrofotometer IR adalah penyerapan radiasi elektromagnetik oleh gugus fungsi tertentu, sehingga berdasarkan pita serapan

yang terbaca kita dapat mengetahui gugus fungsi apa yang terdapat pada senyawa tersebut.

Bila sinar inframerah dilewatkan melalui cuplikan, maka sejumlah frekuensi diserap, sedangkan frekuensi lainnya diteruskan/ditransmisikan tanpa diserap. Hubungan antara persen absorbansi lawan frekuensi maka akan dihasilkan spectrum inframerah. Diagram skematik IR ditunjukkan pada gambar 9 (Hardjono, 1990).



Gambar 9 .Diagram skematik IR

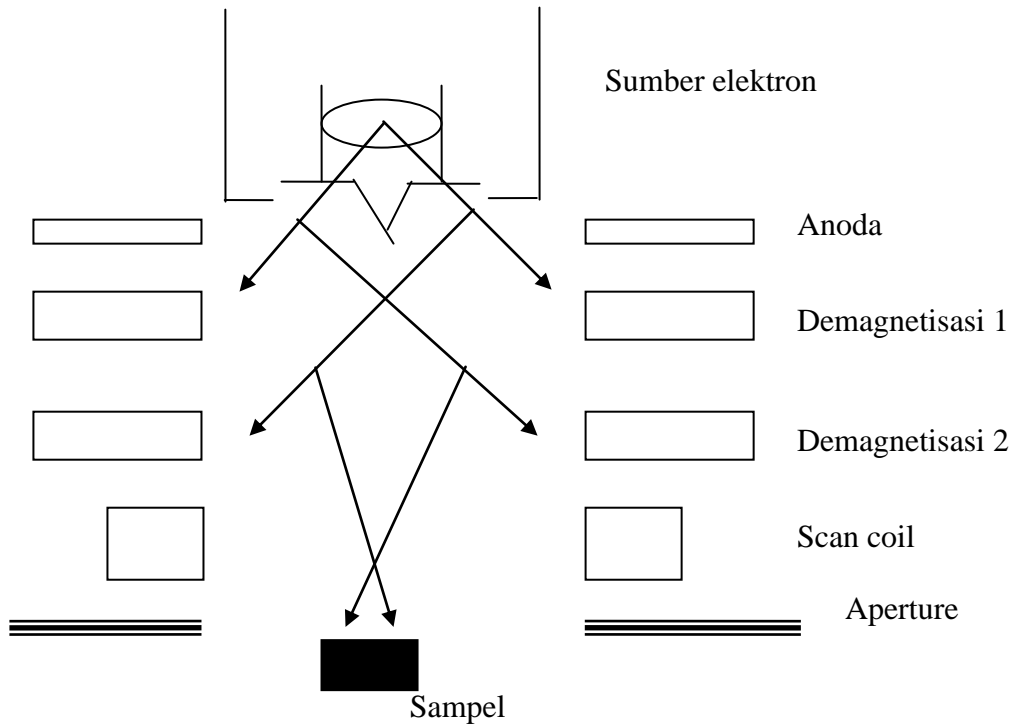
Spektroskopi IR dapat digunakan untuk membedakan antara polimer yang belum digrafting dengan polimer yang telah digrafting yaitu dengan mengamati adanya gugus fungsi tertentu pada polimer yang telah tergrafting. Selain itu, pemanfaatan metode ini telah berkembang yaitu untuk memantau suatu reaksi yang terjadi berdasarkan perubahan fungsionalitas sample mengikuti reaksi yang terjadi. Kedua fungsi dari alat diatas akan dimanfaatkan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui gugus fungsi pada

polimer yang telah tergrafting dan memantau reaksi polimerisasi yang terjadi. Penggunaan spektroskopi IR sangat menguntungkan karena alat ini bekerja cepat, langsung dan hanya membutuhkan sejumlah sedikit sample (Stevens, 2001).

Berdasarkan strukturnya, spektrum IR pada sample tergrafting 4 vinil piridin akan menghasilkan puncak khas cincin piridin serta puncak yang menandakan vibrasi regangan C-H aromatik dan vibrasi regangan C-N amina. Dari perubahan karakteristik spektrum IR seperti dipaparkan diatas dapat dilihat bahwa keberhasilan reaksi grafting yang dilakukan akan tergambar dengan jelas dari spectrum IR yang diperoleh.

2. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

SEM adalah suatu instrumen yang menghasilkan seberkas elektron pada permukaan spesimen target dan mengumpulkan serta menampilkan sinyal-sinyal yang diberikan oleh material target. Pada prinsipnya SEM terdiri dari kolom elektron (*electron column*), ruang sample (*specimen chamber*), system vakum (*vacuum system*). Penggunaan alat Scanning Electron Microscopy dalam analisis morfologi kopolimer telah dikembangkan secara luas. Prinsip analisis menggunakan SEM adalah dengan sinyal elektron sekunder.



Gambar 10. Diagram skematik SEM

Berkas elektron diarahkan pada suatu permukaan specimen yang telah dilapisi suatu film konduktor. Pelapisan ini bertujuan agar polimer yang digunakan dapat menghantarkan arus listrik sehingga dapat berinteraksi dengan berkas elektron. Berkas elektron yang berinteraksi dengan specimen dikumpulkan untuk menghasilkan suatu sinyal. Sinyal ini digunakan untuk mengatur intensitas elektron pada suatu tabung televisi yang diarahkan serentak dengan sinar dari mikroskop. Interaksi berkas elektron dengan specimen akan menghasilkan pola difraksi electron yang dapat memberikan informasi mengenai kristalografi, jenis unsur serta distribusinya, dan morfologi dari permukaan bahan (Wu, 1983).

Grafting monomer pada substrat polimer sering dimulai dari perubahan morfologi polimer yang dapat diamati dengan SEM. Smith (1990)

menerapkan metode ini untuk memeriksa metal metakrilat pada substrat selulosa dan menunjukkan bahwa grafting telah terbukti dengan reduksi panjang serat selulosa. Disamping itu metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi kedalaman dari grafting kedalam matriks. SEM juga dapat membantu untuk mendeteksi distribusi monomer yang ditempel dengan perbandingan mikrograf dari masing-masing bagian monomer yang ditempel (Bary *et al.*, 1995).

3. Difraksi Sinar-X (*X-Ray Diffraction/XRD*)

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 0,05 sampai 0,25 nm (0,5 sampai 2,5 Å) yang mendekati jarak antar atom kristal (Smith, 1990). Penemuan sinar-X oleh Wilhelm Roentgen pada tahun 1895 menyediakan suatu alat yang sangat ampuh untuk menentukan struktur kristal. Sinar-X dapat terjadi apabila suatu logam target ditumbuki oleh seberkas elektron yang mempunyai energi tinggi, elektron-elektron tersebut akan mengalami pengurangan kecepatan dengan cepat dan energi kinetik elektron yang menumbuk sebagian besar diubah menjadi panas dan kurang dari 1% diubah menjadi sinar-X (Cullity, 1978). Sinar-X ini akan menghasilkan sinar dalam beberapa arah, ada yang menguatkan atau berinterferensi konstruktif serta tidak sefasa dan saling meniadakan atau berinterferensi destruktif (Beiser, 1995).

Struktur kristal suatu material dapat diketahui dengan melakukan percobaan difraksi sinar-X. Apabila sinar-X jatuh pada kisi kristal, sinar tersebut akan

didifraksikan artinya sinar yang sefasa akan saling menguatkan dan yang tidak sefasa akan saling meniadakan (Cullity, 1978).