

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kulit Buah Manggis

2.1.1 Deskripsi Tanaman

Manggis merupakan tanaman buah berupa pohon yang berasal dari hutan tropis yang teduh di kawasan Asia tenggara, yaitu hutan belantara Kalimantan Timur di Indonesia atau semenanjung Malaya. Tanaman ini tumbuh subur pada daerah yang mendapat banyak sinar matahari, kelembaban tinggi, serta musim kering yang pendek (untuk menstimulasi perbungaan). Pada kondisi kering, diperlukan irigasi untuk menjaga kelembapan tanah. Tanaman ini dapat ditanam hingga ketinggian 1000 m di atas permukaan laut (20-40) di daerah tropis, namun biasanya pertumbuhan maksimal berlangsung di daerah dataran rendah (Nugroho, 2009).

2.1.2 Taksonomi Kulit Buah Manggis

Tabel 2.1 Taksonomi Kulit Buah Manggis

Kingdom	Plantae
Sub Kingdom	Tracheobionta
Divisi	Spermatophyta
Sub Devisi	Angiospermae
Kelas	Dicotyledoneae
Sub Kelas	Dilleniidae
Ordo	Guttiferanales
Famili	Guttiferae
Genus	Garcinia
Spesies	Garcinia mangostana L

(Bahri et al., 2012)



Gambar 2.1 Serbuk Kulit Buah Manggis

2.1.3. Morfologi Tanaman Manggis

a) Batang

Tegak, kulit batang coklat memiliki getah kuning.

b) Daun

Tunggal, posisi daun berhadapan atau bersilang berhadapan. Helai daun mengkilat di permukaan, permukaan atas hijau gelap dengan permukaan bawah hijau terang, berbentuk elips memanjang, ukuran 12-23 cm 4,5-10 cm, tangkai 1,5-2 cm.

c) Bunga

Bunga betina 1-3 di ujung batang, susunan menggarpu, garis tengah 5-6 cm. Mempunyai 4 daun kelopak, dua daun kelopak yang terluar hijau kuning, dua yang terdalam lebih kecil bertepi merah, melengkung kuat, tumpul.

d) Buah

Bentuk bola tertekan, garis tengah 3,5-7 cm, ungu tua dengan kepala putik duduk (tetap), kelopak tetap, dinding buah tebal, berdaging, ungu, dengan getah kuning.

e) Biji

Memiliki biji 1-3 butir, diselubungi oleh selaput biji yang tebal berair, putih, dapat dimakan (termasuk biji yang gagal tumbuh sempurna) (Nugroho, 2009).

2.1.4. Kandungan Kimia

Metabolit sekunder adalah merupakan senyawa kimia yang dihasilkan oleh tumbuhan dan memiliki bioaktivitas yang biasanya memiliki fungsi sebagai pelindung bagi tumbuhan terhadap serangan hama penyakit. Metabolit sekunder tumbuhan diklasifikasikan menjadi 4 kelompok utama yaitu, senyawa mengandung nitrogen, terpenoid, phenolic dan poliasetat (Nugroho, 2009).

Kandungan metabolit sekunder yang ada dalam buah manggis diantaranya yaitu triterpen, mangostin, tanin, dan resin. Sedangkan yang terdapat dalam kulit buah manggis yaitu antosianin dan xanthone. Xanthone merupakan substansi kimia alami yang tergolong senyawa polyphenolic. Xanthone memiliki gugus hidroksida (OH^-) yang efektif mengikat radikal bebas di dalam tubuh. Kulit manggis efektif menetralkan radikal bebas. Dilihat dari nilai Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) xanthone mencapai 17.000-20.000 per 100 ons (sekitar 2,835 gram kulit). Dibandingkan dengan sumber antioksidan lain seperti anggur yang hanya 1.100, sedangkan apel 1.400. ORAC merupakan kemampuan antioksidan menetralkan radikal bebas. Kemampuan antioksidan xanthone bahkan melebihi vitamin A, C dan E yang selama ini dikenal sebagai antioksidan paling efektif dalam melawan radikal bebas yang ada dalam tubuh. Xanthone sangat bermanfaat untuk kesehatan tubuh sebagai antioksidan, anti-histamin, anti-inflamasi dan anti-mikroba (Nugroho, 2009).

Penelitian ini juga telah dilakukan oleh Nakatani et al. pada tahun 2004 terhadap mekanisme ekstrak kulit buah manggis dengan etanol 100%, 70% dan 40% diuji terhadap sintesa prostaglandin, pelepasan histamin serta peroksidase lipid. Ekstrak etanol 40% menunjukkan efek paling poten dalam menghambat peroksidase lipid, pelepasan histamin dan sintesa PG-sikloosigenase (COX).

Selanjutnya, Weecharansan et al. pada tahun 2006 telah menindaklanjuti hasil penelitian tersebut dengan melakukan penelitian antioksidan dalam ekstrak kulit buah manggis dengan metode penangkapan radikal bebas 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak etanol 40% menunjukkan aktivitas poten antioksidan dengan hasil skrining didapatkan 8-hidroksikudraxanton, -mangostin, -mangostin dan smeachxanton A.

Tabel 2.2. Kandungan Nutrisi Kulit Buah Manggis Per 100 Gram

Komposisi	Jumlah
Air	62,50%
Lemak	0,63%
Protein	0,71%
Karbohidrat	35,61%
Total gula	2,10%
Vitamin C	7,89%
Vitamin E	1,30%
Kalsium	0,70%
Fosfor	0,70%
Kalium	3,30%
Xanthone	34,9 mg/gr
Antosianin	6,2 mg/gr
Total fenol	154,6 mg/gr

Sumber : Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian, 2011

2.2 Hidrogel

Hidrogel adalah merupakan jaringan polimer hidrofilik yang dapat menyerap sejumlah besar air sehingga dapat menyebabkan peningkatan volume secara drastis (Mohadi, R. *et al.*, 2007). Hidrogel adalah bahan polimer hidrofilik yang mempunyai kemampuan untuk mengembang di air atau cairan biologi tetapi tidak larut dalam air. Ketika mengembang di air, hidrogel tetap mempertahankan bentuk asalnya. Sifat hidrofilik dari hidrogel ini dipengaruhi oleh adanya gugus-gugus $-OH$, $-COOH$, $-CONH_2$, dan $-SO_3H$. Sedang sifat ketidaklarutannya dalam air dan kemampuannya mempertahankan bentuk dipengaruhi oleh struktur tiga dimensi dari hidrogel. Pada umumnya hidrogel dibuat dari polimer hidrofilik baik dalam bentuk tunggal atau kombinasi dengan polimer lainnya dengan teknik kimia atau radiasi sehingga membentuk ikatan silang (*crosslinking*). Kemampuan dari hidrogel untuk mengembang di air adalah kesetimbangan antara kekuatan disperse pada rantai hidrat dengan kekuatan kohesi yang tidak mencegah penetrasi air ke dalam hidrogel. Selain itu, derajat dan sifat ikatan silang serta kekristalan dari polimer turut menentukan sifat mengembang dari hidrogel (Felasih, E., 2010). Hidrogel ini merupakan materi yang sangat menarik karena sifat kelarutannya dan daya angkut air yang unik. Bentuknya yang mirip air disebabkan polimer ini hampir seluruh bagian bentuknya terdiri dari air (Erizal, *et al.*, 2002), dan memiliki beberapa sifat unik yang membuat sangat biokompatibel :

- Pertama, hydrogel memiliki tegangan antarmuka yang rendah dengan cairan biologis dan jaringan disekitarnya. Ini menurunkan gaya yang digunakan untuk adsorpsi pelarut dan gaya adhesi sel.
- Kedua, kandungan airnya sangat tinggi karena permukaan hidrogel sangat hidrofilik dan mampu menstimulasi beberapa sifat jaringan dari alam dengan kadar air yang tinggi. Hal ini membuatnya sangat biokompatibel.
- Ketiga adalah sifatnya yang lunak dapat meminimalkan iritasi mekanik dan gesekan pada jaringan di sekitarnya. Dengan demikian hidrogel sangat potensial untuk membawakan makromolekul bioaktif dalam keadaan mengembangnya, sehingga hidrogel juga dapat digunakan untuk aplikasi di berbagai bidang kesehatan (Muthoharoh, S.P., 2012)

2.2.1 Sifat-Sifat Hidrogel

Pada sifat fisikokimia dari hidrogel tidak hanya tergantung dari struktur molekul, struktur gel dan banyaknya ikatan silang, tetapi juga dipengaruhi oleh kandungan dan keadaan air di dalam hidrogel tersebut. Hidrogel juga mempunyai sifat yang dapat mengembang dan menyusut pada kondisi pH tertentu. Hidrogel mempunyai karakter fisika-kimia yang khas dan memiliki kelebihan dan peranan masing-masing. Hidrogel yang berikatan secara fisika digunakan untuk penggunaan yang relatif cepat karena ikatannya yang cukup lemah sehingga dalam media asam yang encer pada waktu tertentu sudah mengalami pengembangan dan akhirnya melarut. Lain halnya dengan hidrogel yang berikatan secara kimia, karena ikatannya kuat atau sulit diubah-ubah lagi sehingga dalam kondisi asam masih bisa bertahan cukup lama (Mohadi, Ratal., 2007). Rantai polimer dengan ikatan silang kimia atau fisika pada umumnya sangat penting untuk menjaga struktur ruang hidrogel (Erizal., 2010).

Hidrogel ini dapat menunjukkan karakteristik *swelling*, didasarkan pada perubahan lingkungan sekitarnya. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi respon hidrogel terhadap perubahan lingkungan yaitu, pH, temperatur dan radiasi elektromagnetik. Selain faktor-faktor di atas, rasio bahan ikatan silang dan struktur kimia juga mempengaruhi karakteristik *swelling* hidrogel. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi karakter *swelling* hidrogel adalah rasio bahan ikatan silang. Semakin

besar rasio bahan ikat silang, maka struktur hidrogel akan semakin rapat, sehingga molekul air sulit masuk pada hidrogel, akibatnya derajat *swelling* berkurang dibandingkan dengan hidrogel yang sama dengan rasio bahan ikat silang lebih rendah. Karakter *swelling* hidrogel juga dipengaruhi oleh struktur kimia dari polimer yang menyusun hidrogel. Hidrogel yang mengandung gugus hidrofilik, karakter *swelling* nya lebih baik dibandingkan dengan hidrogel yang mengandung gugus hidrofobik (Yuniarti,S., 2012).

2.2.2 Metode Pembentukan Hidrogel

Metode hidrogel dapat dibentuk melalui ikat silang secara fisik atau kimia dari homopolimer atau kopolimer sehingga terbentuk struktur tiga dimensi. Ikat silang dapat dibentuk dengan interaksi kovalen atau nonkavalen. Hidrogel yang terikatsilang secara kovalen disebut gel kimia sedangkan secara non kovalen disebut gel fisik. Ikat silang dapat dilakukan Hidrogel kimia memberikan kekuatan mekanik yang kuat, akan tetapi rentan terhadap efek samping. Gel fisik adalah jaringan tiga dimensi dimana ikatan rantai polimernya memiliki interaksi non kovalen. Cara untuk membentuk ikat silang secara fisik yaitu dengan interaksi hidrofobik, interaksi muatan, atau dengan membentuk ikatan hidrogen.

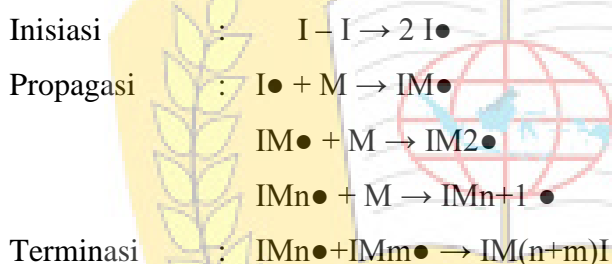
Interaksi ini muatannya dapat juga terjadi antara polimer dan molekul kecil atau antara dua muatan polimer yang berbeda. Hidrogen dan ikatan non kovalen lainnya lebih lemah daripada ikatan kovalen. Interaksi kovalen yang lebih kuat dari non kovalen memiliki stabilitas mekanik yang lebih kuat. Metode ikat silang kimia meliputi polimerisasi radikal, energi tinggi irradiasi dan penggunaan enzim. Pada ikat silang kimia, dibutuhkan pengikat silang yang mungkin dapat bereaksi dengan zat-zat lainnya. Hidrogel kimia bisa dihasilkan dari ikat silang polimer larut air atau dengan konversi polimer hidrofobik menjadi polimer hidrofilik kemudian diikat silang untuk membentuk polimer jaringan. Pada keadaan terikat silang, hidrogel mencapai kesetimbangan *swelling* dilarutan berair bergantung pada densitas ikat silang. Pada proses pembentukan hidrogel, gel yang terbentuk dapat mengalami cacat. Cacat tersebut mengakibatkan kurangnya elastisitas dari hidrogel (Fadhli,A., 2012).

2.3 Asam Akrilat

Asam Akrilat (AA) adalah merupakan salah satu jenis monomer hidrofilik yang merupakan bahan baku untuk pembuatan polimer poliasam akrilat (PAA). Struktur kimia dari poliasam akrilat (PAA) memiliki unit gugus $-\text{COOH}$ yang dapat diionisasi. Rantai polimer ini dapat diberi ikatan silang pada gugus $-\text{OH}$. Sesuai dengan kemajuan dalam pengembangan dibidang penelitian dan teknologi, maka pada beberapa tahun belakangan ini penelitian yang berkaitan dengan polimer asam akrilat (PAA) sedang dikembangkan secara intensif sebagai bahan dasar (*base material*) untuk bahan biomaterial Ibaru.

Asam Poliakrilat (PAA) dapat disintesa melalui proses polimerisasi radikal terhadap monomer asam akrilat (AA) menggunakan pelarut organik (air distilat) dalam suasana atmosferik.

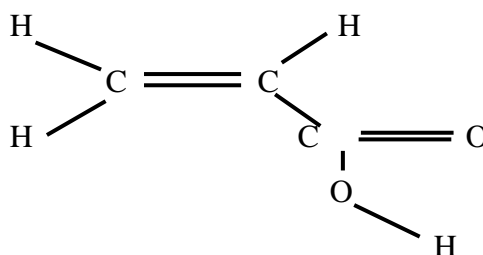
Adapun proses mekanisme sintesis PAA meliputi inisiasi suhu, propagasi dan terminasi seperti berikut.



Asam akrilat ini banyak dimanfaatkan dalam reaksi kopolimerisasi ke suatu polimer. AA dikenal luas sebagai monomer yang membentuk hidrogel dalam kopolimerisasi cangkok ke suatu polisakarida untuk meningkatkan hidrofilisitasnya (Yian,Z., 2008).

Asam akrilat adalah senyawa organik yang memiliki rumus molekul $\text{CH}_2 = \text{CHCOOH}$ berupa cairan pada suhu dan tekanan ruang dengan bau menusuk. Asam akrilat larut sempurna dalam air dan juga dapat larut dalam pelarut organik seperti alkohol, kloroform, benzena, dan aseton. Asam akrilat glasial memiliki berat molekul 72 g/ml, titik didih 141°C , titik leleh 13°C , dan massa jenis 1,045 pada suhu 25°C (BASF., 2001).

Berikut merupakan struktur dari asam akrilat.



Gambar 2.2. Struktur Molekul Asam Akrilat

Asam akrilat ini sangatlah mudah terpolimerisasi, polimerisasi dapat diinisiasi oleh panas, cahaya, dan peroksida. Pada panas system yang sangat tinggi, reaksi polimerisasi spontan asam akrilat dapat terjadi dengan sangat hebat (BASF., 2001). Asam akrilat (acrylic acid atau prop – 2 – enoic acid) mempunyai nama lain acroleic acid, Ethylenecarboxylic acid, Propene acid, Propenoic acid, dan vinylformic acid. Asam akrilat merupakan senyawa vinil karboksilat, berbau tajam dan menyengat, merupakan asam lemah tetapi lebih korosif dibanding asam asetat, sehingga perlu penanganan yang hati-hati, dan harus dihindari kontak langsung dengan kulit (Billmeyer,F.W., 1984).

2.4 Pati Batang Kelapa Sawit

Pati adalah merupakan zat yang sangat penting dalam dunia perdagangan dan industri terutama pada negara berkembang di seluruh dunia. Pati dimanfaatkan dalam industri tekstil, pengolahan pangan, produkproduk farmasi, kertas, dan industri polimer sintetik (Lawal dan Adebawale 2005). Pati dapat diperoleh dengan cara mengekstrak dari bagian beberapa tanaman seperti akar dan umbi, batang dan bijibijian.

Sampai pada saat ini pemanfaatan batang kelapa sawit untuk keperluan industri masih terbatas. Ginting (1995) memanfaatkan batang kelapa sawit menjadi pati dengan cara mengekstrak 2 meter dari pucuk batang kelapa sawit dengan rendemen pati dari batang kelapa sawit adalah 7,15%. Selanjutnya pati tersebut dapat dijadikan bahan pangan maupun bahan baku untuk fermentasi alkohol (Tomimura 1992). Dari hasil penelitian pendahuluan Azemi et al. (1999) menyatakan pati kelapa sawit memiliki potensi untuk menggantikan pati komersial baik dalam bidang pangan dan non pangan.

2.4.1 Penelitian Ekstraksi Pati Kelapa Sawit.

Dalam pembuatan pati kelapa sawit dilakukan dengan membelah batang kelapa sawit kemudian memisahkan kulit keras dan empelurnya. Empelur tersebut diserut hingga jadi serbuk kayu. Serbuk kayu ditambah air, selanjutnya diperas kemudian disaring dengan kain saring. Ampasnya dibuang sedangkan air yang mengandung pati diendapkan selama 3 jam, kemudian dihasilkan pati basah. Pati basah tersebut dicuci dengan menambahkan air dan diendapkan selama 3 jam kemudian pati basah tersebut dikeringkan dengan oven pada suhu 500 C sampai kadar air pati menjadi $\pm 10\%$. Pohon kelapa sawit yang dipotong serbuk gergajiannya diuji dulu kandungan patinya yaitu dengan penambahan air dan diremas dan disaring selanjutnya diendapkan pada erlenmeyer 250 ml. Jika mengandung pati proses ekstraksi dilanjutkan.

2.4.2 Karakterisasi Pati

Pati kelapa sawit yang dapat diperoleh dari ekstraksi batang kelapa sawit, dikarakterisasi meliputi komposisi kimia (kadar air (AOAC 1995), kadar abu (AOAC 1995), kadar serat (AOAC 1995), kadar protein (AOAC 1995), kadar lemak (AOAC 1995), kadar amilosa (Apriyantono et al. 1989) dan kadar pati (Hidayat 1988)), sifat fisik (derajat putih, bentuk dan ukuran granula pati dan sifat amilografi) demikian juga dilakukan terhadap pati sagu dan tapioka.

2.5 Karakterisasi Polimer

2.5.1 Rasio Swelling

Swelling adalah merupakan salah satu sifat fisika yang khas hidrogel, menggambarkan kemampuan hidrogel dalam menyerap air (Erizal, et al., 2002). Jika polimer hidrogel mengembang (*swelling*) dalam mediumnya, ini menunjukkan bahwa hidrogel mampu mengadsorb medium cairnya tanpa larut didalamnya. Semakin banyak rantai yang berikatan silang dalam suatu polimer, kemampuan mengembangnya akan menurun dan gel menjadi semakin keras/kuat. Hidrogel direndam dalam air destilasi hingga mencapai keadaan kesetimbangan. Lalu diambil dan setelah sisa air dihilangkan, kemudian ditimbang (Muthoharoh, S.P., 2012).

2.5.2 *Fourier Transform Infrared (FT-IR)*

Fourier Transform Infrared adalah suatu teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum penyerapan *infrared*, emisi, foto konduktivitas atau hamburan raman dari keadaan padat, cair atau gas. Spektrometer FTIR secara bersamaan mengumpulkan data spektral dalam berbagai spektrum yang luas. Ini mendapat keuntungan yang signifikan atas spektrometer dispersif yang mengukur intensitas sedikit rentang panjang gelombang pada suatu waktu (Lawson.,D., 2001).

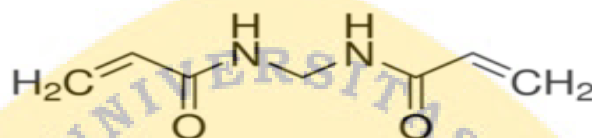
Dua variasi instrumental ini dari spektroskopi IR yaitu metode dispersive yang lebih tua, dimana prisma atau kisi dipakai untuk mendiskripsikan radiasi IR, dan metode Fourier transform (FT) yang lebih akhir, yang menggunakan prinsip interferometri. Kelebihan – kelebihan dari FT-IR ini mencakup persyaratan ukuran sampel yang kecil, perkembangan spektrum yang cepat, dan (karena instrument ini memiliki computer yang terdeteksi) kemampuan untuk menyimpan dan memanipulasi spectrum (Stevens,M.P., 2007).

Hampir dari semua molekul menyerap sinar inframerah dan masing-masing molekul hanya menyerap sinar inframerah pada frekuensi tertentu. Hal ini menunjukkan karakteristik khas untuk setiap molekul. Masing-masing dari molekul hanya menyerap pada frekuensi tertentu dan akan terbentuk pola spektrum absorpsi yang khas atau sidik jari pada spektrum inframerah.

Spektroskopi FTIR ini didasarkan pada prinsip bahwa hampir semua molekul mengadsorpsi sinar inframerah monoatomik dan molekul diatomik homopolar yang tidak mengadsorpsi sinar inframerah. Pancaran inframerah ini yang kerapatannya kurang dari 100 cm^{-1} diserap oleh sebuah molekul organik dan diubah menjadi energi putaran molekul. Spektrum rotasi molekul garis-garis yang tersendiri (Silverstein,R.M.at al., 1986).

2.6 N,N' Metilen Bisakrilamida

Metilen bisakrilamida (MBA) ini mempunyai rumus molekul $C_7H_{10}N_2O_2$, beratmolekul sebesar 157, 14, dan densitas sebesar 1,235. Metilen bisakrilamida melebur pada suhu $185^\circ C$ dan kelarutannya 0,01-0,1 g/100 ml pada suhu $18^\circ C$ (Merck, 2005). Metilen Bisakrilamida yang memiliki gugus fungsional amina namun sangat tahan terhadap hidrolisis. Senyawa ini juga mengandung dua ikatan rangkap yang reaktif sehingga dapat berikatan dengan dua rantai yang berbeda saat polimerisasi berlangsung (Garner, C. Mat *al.*, 1997). Bentuk molekul metilen bisakrilamida ditunjukkan pada Gambar 2.6.



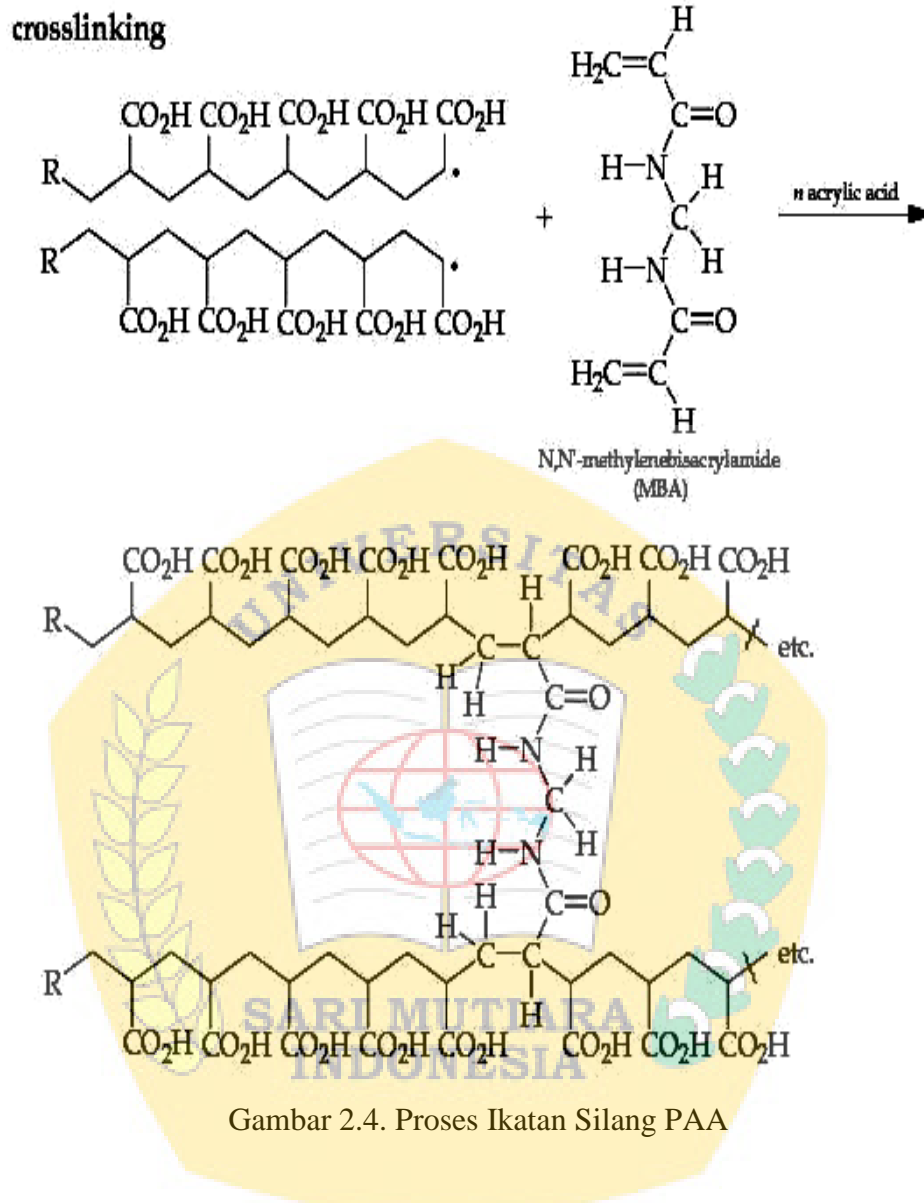
Gambar 2.3. Struktur Molekul Metilen Bisakrilamida

Metilen bisakrilamida ini dapat juga dimanfaatkan sebagai agen pengikat silang dalam modifikasi polimer. Ikatan sambung silang yaitu menyambungkan antar rantai polimer dan memodifikasi polimer menjadi tidak larut dalam air. Metilen bisakrilamida digunakan sebagai agen pengikat silang karena memiliki dua ikatan rangkap yang reaktif. Dua ikatan rangkap ini dapat bergabung dalam dua rantai polimer yang berbeda ketika polimerisasi, dan menghasilkan ikatan sambung silang. Agen pengikat silang ini hanya dibutuhkan dalam jumlah yang sangat sedikit (Garner, C. Mat *al.*, 1997).

2.7 Proses ikatan Silang (Crosslink)

Reaksi ikatan silang ini pada saat polimerisasi sangat penting untuk menghasilkan jejaring polimer (yang dapat menyerap air). Pengikat silang yang digunakan dalam penelitian ini adalah N,N'-metilenbisakrilamida (MBA) yang bereaksi dengan gugus fungsi karboksil pada rantai polimer sehingga terbentuk jejaring polimer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 Kemampuan polimer dalam menyerap air sangat bergantung pada derajat ikat silang.

Background Information



Polimerisasi dapat dilakukan dengan melarutkan monomer asam akrilat dalam aquades pada suhu proses yang diinginkan ($50^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}$), tekanan atmosferik dan menggunakan BPO sebagai inisiator yang berfungsi untuk membentuk radikal yang sangat reaktif sehingga monomer AA bergabung menjadi PAA. Setelah reaksi polimerisasi selesai, polimer dikeringkan, selanjutnya diberi *curing agent* yang berfungsi menambah derajat ikatan silang pada permukaan partikel polimer, sehingga kinerja serapan airnya menjadi lebih bagus dan lebih mudah dikontrol.

Ikat silang ini dapat digambarkan sebagai ikatan antara dua rantai polimer yang bergabung satu sama lain melalui suatu cabang (*branch*). Ikatan antar polimer ini dapat terjadi dengan bantuan agen pengikat silang yang jumlahnya 2-12% dari jumlah masing-masing komponen polimer yang berikatan. Secara umum ikat silang dibedakan menjadi 2 yaitu, ikat silang kimia (*chemical cross-link*) dan ikat silang fisika (*physical cross-link*).

Ikat silang kimia ini dapat juga terjadi melalui ikatan kovalen maupun ion. Ikat silang pada suatu polimer dapat mempengaruhi derajat *swelling*. Ketika hadir pelarut, suatu polimer ikat silang akan mengembang padasaat molekul - molekul pelarut menembus jaringannya. Tingkat pengembangan (*swelling*) ini selain bergantung pada tingkat pengikatsilangan, juga bergantung pada afinitas antara pelarut dan polimer. Ikat silang fisika merupakan ikatan-ikatan silang yang labil secara termal, yakni ikatan-ikatan silang kimia yang putus oleh pemanasan dan mengikat kembali setelah pendinginan. Ikat silang ion termasuk ikat silang fisika (Stevens, M.P., 2001).

