

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ubi Kayu

Ubi kayu (*Manihot Utilisima*) yang juga dikenal sebagai singkong/ketela pohon merupakan pohon dari keluarga *Euphorbiaceae*. Ubi kayu tumbuh di hampir semua daerah di Indonesia dan termasuk salah satu tanaman pokok selain beras, karena mengandung karbohidrat yang cukup besar. Potensi produksi ubi kayu di Lampung secara nasional cukup tinggi. Jumlah produksi ubi kayu meningkat dari tahun ke tahun, pada tahun 2010 ini produksi ubi kayu di Lampung sangat tinggi, yaitu sebesar 101,98% atau sekitar 7,52 juta ton yang seharusnya ditargetkan hanya 7,37 juta ton (BPS, 2010). Secara nasional produksi ubi kayu tahun 2011 adalah 24 juta ton (BPS, 2012). Keunggulan tersebut memberikan gambaran bahwa ubi kayu merupakan komoditi yang mempunyai prospek pengusahaannya yang cukup baik.

Produksi yang melebihi target pencapaian, menunjukkan bahwa Lampung merupakan daerah yang sangat sesuai dan potensial untuk pertumbuhan ubi kayu. Komoditi ubi kayu juga merupakan salah satu komoditas tanaman pangan yang menghasilkan devisa negara melalui ekspor dalam bentuk gaplek/chips dan tapioka. Pemanfaatan terbesar ubikayu di Indonesia yaitu untuk bahan pangan sekitar 58 %, bahan baku industri 28 %, ekspor dalam bentuk gaplek sekitar 8 %,

pakan 2 % sedangkan sisanya 4 % digunakan sebagai limbah pertanian.

Komposisi kimia dari ubi kayu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia ubi kayu.

Kandungan dalam Ubi Kayu	Unit/100 gr
Air	63%
Karbohidrat	35,3%
Protein	0,6 gr
Serat	1,6 gr
Lemak	0,2 gr
Kalsium	30 ml
Fosfor	1,1 ml
Zat besi	49 ml
Vitamin B1	0,06 mg
Riboflavin	0,06 mg
Kalori	75 kal

Sumber : Widiastoety *et al.* (2003).

Salah satu jenis ubi kayu yang banyak dibudidayakan oleh masyarakat di Provinsi Lampung adalah varietas Kasetsart. Berdasarkan standar mutu yang telah ditetapkan oleh Menteri Pertanian (2000), kadar pati minimal untuk varietas Kasetsart adalah 19%. Badan Litbang Pertanian (2010) menyatakan varietas Kasetsart memiliki kadar pati tinggi, potensi hasil tinggi, fleksibel dalam usaha tani dan umur panen (Prihandana *et al.* 2008). Potensi produksi ubikayu Kasetsart sekitar 2-38 ton ha, kadar pati 20-30% berat basah (BB) dan kadar HCN>100 ppm (rasa agak pahit), umur panen 9-10 bulan.

2.1.1 Ekstraksi Pati

Pati mudah diperoleh dari bahan tanaman sumber karbohidrat yang biasanya terdapat pada bagian umbi, daging buah, batang, akar, empelur batang dan biji.

Pati adalah polisakarida yang dibentuk dari sejumlah molekul glukosa dengan ikatan α -glikosidik. Oleh karena itu, pati dapat disebut sebagai karbohidrat kompleks (British Nutrition Foundation, 2005). Kandungan pati dalam ubi kayu menurut Winarno (1992) adalah 34.6%. Proses ekstraksi ubi kayu relatif mudah, karena kandungan protein dan lemaknya yang rendah. Jika proses pembuatannya dilakukan dengan baik, pati yang dihasilkan akan berwarna putih bersih. Berdasarkan derajat keputihan, maka semakin putih tepung tapioka mutunya juga semakin baik (Moorthy, 2004).

Proses ekstraksi pati pada pabrik tapioka skala industri dimulai dengan pembersihan umbi ubi kayu dari kandungan tanah dengan menggunakan penyemprotan udara bertekanan tinggi. Setelah itu ubi kayu diumpankan pada *belt* yang berjalan untuk masuk pada mesin pengupasan dan pembersihan. Selama dalam perjalanan menuju proses, umbi ubi kayu tersebut dicuci memakai air yang disemprotkan dibagian ujung atas dari *belt* yang berjalan, dengan demikian, tanah, pasir, dan kotoran-kotoran lainnya yang masih melekat di kulit umbi dapat tercuci dan terbawa hanyut bersama-sama dengan air yang mengalir turun. Air di dalam palung juga disirkulasi (*recycle*). Pada saat disirkulasi, air kotor dari dalam palung yang disirkulasi dilewatkan pada alat penyaring dan *hydrocyclone* atau bak-bak pengendapan (Bastian, 2011).

Umbi yang telah dicacah kecil-kecil kemudian dilumatkan menjadi bubur umbi, pada proses pelumatan ini harus diperhatikan agar pati dapat terpisah dari serat sebanyak-banyaknya, tetapi tanpa menghasilkan serat halus yang banyak, serat halus ini jika terlalu banyak dapat menyulitkan proses selanjutnya, sehingga

berakibat turunnya efisiensi pabrik. Bubur umbi dari desintegrator, tersebut kemudian dikirim ke alat ekstraksi (ekstraktor). Ekstraksi pati dilakukan secara bertingkat, mula-mula bubur umbi disaring menggunakan saringan statis. Serat kasar dan partikel-partikel kasar dipisahkan terlebih dahulu. Bubur umbi yang lolos saringan kemudian dilewatkan saringan berputar model konis, partikel-partikel yang lebih halus terutama serat dipisahkan (Bastian, 2011).

Bubur pati yang dimasukkan ke dalam separator sentrifugal dari tangki pengumpan akan dipisahkan lebih lanjut dari serat-serat halus yang masih terkandung di dalamnya. Bahan-bahan terlarut dipisahkan dengan cara pencucian beberapa kali di dalam separator. Bubur pati yang sudah murni tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *hydrocyclone* untuk dipisahkan airnya. Dari *hydrocyclone* atau bak-bak pengendapan, pati yang sudah banyak kehilangan air tersebut kemudian dimasukkan ke alat pemutar untuk dibuang airnya lebih lanjut (*dewatering*). Partikel-partikel pati yang dihasilkan pada tahap ini masih mengandung kadar air yang tinggi sehingga tidak dapat disimpan lama tanpa menimbulkan kerusakan. Oleh karena itu pati harus dikeringkan melalui alat pengering (*dryer*). Hasil pengeringan ini diperoleh sebuk-serbuk pati yang siap dikemas. Kadar air dari tapioka yang dihasilkan berdasarkan SNI No. 01-3451-1991 adalah 15% (Deptan, 2005).

2.1.2 Onggok

Hasil samping dari proses pengolahan ubi kayu menjadi tapioka adalah ampas ubi kayu atau yang disebut onggok. Banyaknya onggok yang dihasilkan dari proses pembuatan tapioka berkisar 11,4% dari bobot bahan bakunya dengan kadar air

20% (Septiawati, 2008). Komposisi kimia onggok beragam tergantung dari mutu bahan baku, efisiensi proses ekstraksi pati dan penanganan onggok tersebut (Ciptadi, 1983 dalam Barus, 2005). Komposisi kimia onggok dan beras dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi kimia onggok dan beras

Komposisi	Onggok (%)*	Beras (%)**
Karbohidrat (selain serat dan pati)	40,26	76,58***
Serat	33,10	-
Pati	7,17	-
Protein	0,93	8,59
Lemak	0,19	1,23
Air	17,84	11,82
Abu	0,51	0,78

Sumber : *Rahmasari dan Putri, (2008), ** Agrasamita, (2008).

*** Total karbohidrat

Dilihat dari komposisinya maka onggok dapat dimanfaatkan sebagai bahan makanan pokok pensubstitusi beras. Selama ini pemanfaatan onggok belum begitu optimal. Pemanfaatan umum yang dilakukan adalah menjadikannya sebagai pakan ternak. Syamsir (1996) menyebutkan bahwa onggok tapioka mengandung pati dalam kadar yang tergolong tinggi yaitu sebesar 79,7% dengan kadar amilosa 17% dan amilopektin 83%.

Permasalahan untuk memanfaatkan onggok sebagai bahan pengganti beras yaitu rendahnya nutrisi yang terkandung dalam onggok, tekstur yang keras dan kasar serta bersifat kohesif, dan kurang bersifat fungsional. salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memperbaiki tekstur tersebut adalah dengan cara melakukan proses fermentasi secara spontan. Fermentasi ini dilakukan dengan cara merendam onggok dengan menggunakan air. Perendaman bahan yang memiliki

pati seperti tepung jagung dengan air akan menyebabkan terjadinya fermentasi secara spontan yang dilakukan oleh Bakteri Asam Laktat. Reddy *et al.* (2008) menjelaskan BAL mampu tumbuh pada bahan pangan berpati karena dapat menghasilkan enzim amilase untuk mendegradasi pati yang terdapat pada bagian amorphous terutama amilosa menjadi glukosa sebagai sumber karbon selama pertumbuhannya.

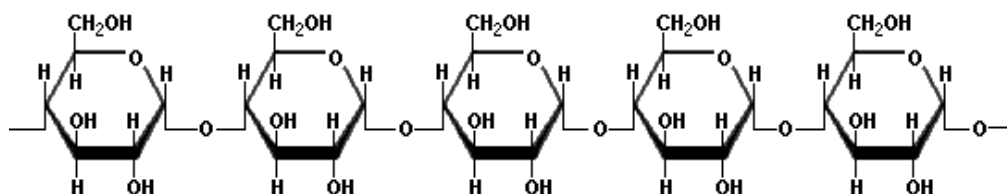
BAL dikenal sebagai bakteri asam laktat amilolitik. Berkurangnya amilosa dan amilopektin berantai pendek akan menurunkan kecenderungan retrogradasi sehingga tekstur menjadi lebih baik (Yuan *et al.*, 2007). Populasi bakteri meningkat selama fermentasi hingga jam ke-24. Populasi BAL hingga jam ke-24 sekitar 6 log CFU/mL. Peningkatan jumlah BAL selama fermentasi seiring dengan terjadinya penurunan pH dari pH awal 6.36 menjadi pH 5.36 pada jam ke-24. Penurunan pH tersebut disebabkan oleh metabolit yang dihasilkan BAL yaitu asam laktat atau asam organik lainnya (Reddy *et al.*, 2008).

Onggok juga mengandung polisakarida non pati yang komponennya terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan pektin. Nurdjanah dan Elfira (2009) melaporkan kandungan polisakarida non pati pada dinding sel ampas ubi kayu adalah pektin sekitar 9,9%, hemiselulosa 6,1% dan selulosa 5,8%. Komponen dinding sel ini merupakan sumber serat pangan yang sangat potensial untuk dikembangkan produk olahan. Kandungan serat pangan yang terdapat pada onggok ini dapat berfungsi sebagai salah satu sumber prebiotik yang dapat mengurangi terjadinya kanker kolon.

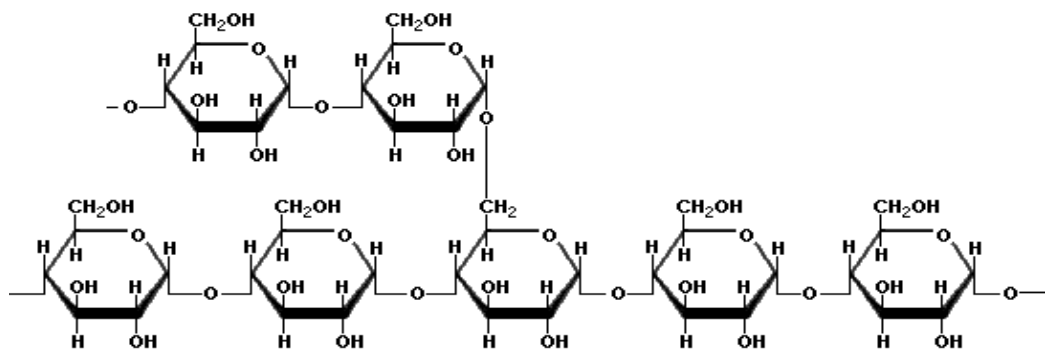
2.2 Ketan Hitam (*Oryza sativa glutinosa*)

Beras ketan (*Oryza sativa glutinosa*) termasuk ke dalam family *Graminae* dan merupakan salah satu varietas dari padi (Grist, 1975). Beras ketan mempunyai kadar amilosa sekitar 1-2%, sedangkan beras yang mengandung amilosa lebih besar dari 2% disebut beras biasa atau beras bukan ketan (Winarno, 1986). Menurut Damardjati (1980), butir beras terdiri dari endosperm, aleuron, dan embrio. Di dalam aleuron dan embrio terdapat protein, lemak, mineral, dan beberapa vitamin, sedangkan pada bagian endosperm hampir seluruhnya terdiri dari pati. Pati yang terdapat pada endosperm, tidak seluruhnya terdiri dari granula pati, tetapi juga mengandung pati terlarut, dekstrin, dan maltose.

Beras ketan hampir seluruhnya terdiri dari pati (*starch*). Pati merupakan bagian dari karbohidrat dengan suatu polimer senyawa glukosa yang terdiri dari dua komponen utama, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa terdiri atas 250-300 unit D-glukosa, polimer linier dari D-glukosa membentuk amilosa dengan ikatan 1,4-glukosidik. Sedangkan amilopektin terdiri lebih dari 1000 unit glukosa, polimer amilopektin adalah terbentuk dari ikatan 1,4-glukosidik dan membentuk cabang pada ikatan 1,6- glukosidik (Poedjiadi, 1994). Gambar struktur amilosa dan amilopektin dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Struktur amilosa



Gambar 2. Struktur amilopektin
Sumber : Winarno (1992).

Amilosa bersifat sangat hidrofilik, karena banyak mengandung gugus -OH. Molekul amilosa cenderung membentuk susunan paralel melalui ikatan hidrogen. Menurut Winarno (1997), berdasarkan kandungan amilosanya, beras (nasi) dapat dibagi menjadi empat golongan yaitu : (1) beras dengan kadar amilosa tinggi 25-33 %; (2) beras dengan kadar amilosa menengah 20-25 %; (3) beras dengan kadar amilosa rendah 9-20 %; (4) beras dengan kadar amilosa sangat rendah < 9 %. Beras ketan praktis tidak ada amilosanya (1-2 %), sedang beras yang mengandung amilosa lebih dari 2% disebut beras biasa atau beras bukan ketan. Beras berkadar amilosa rendah mempunyai sifat nasi yang pulen, tidak terlalu basah maupun kering. Sedangkan beras berkadar amilosa tinggi mempunyai sifat nasi yang keras, kering dan pera setelah dingin.

Menurut Mulyadi dalam Prihatiningsih (2000), senyawa selain pati yang terdapat pada ketan adalah protein yang disebut oryzain. Kadar lemak dalam beras ketan tidak terlalu tinggi yaitu rata-rata 0.7 % dan kandungan asam lemak yang terbanyak adalah asam oleat dan asam palmitat serta untuk kandungan vitamin dan mineral sangat rendah. Vitamin yang terkandung dalam beras ketan adalah

tiamin, riboflavin dan niasin. Sedangkan mineral yang terkandung dalam beras ketan adalah besi, kalsium, fosfor dan lain sebagainya (Hasanah, 2008). Ketan hitam mengandung komponen antioksidan seperti vitamin E dan g-oryzanol yang berperan dalam penurunan kadar kolesterol dalam tubuh. Komposisi kandungan kimia dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan gizi beras ketan hitam

Kandungan Gizi	Jumlah
Protein (%)	11,37
Lemak (%)	2,43
Karbohidrat (%)	66,94
Abu (%)	4,68
Serat (%)	3,11
Air (%)	11,47

Sumber: Wattihelluw, (2008).

Kandungan fenolik pada ketan hitam sangat tinggi, hal ini didasarkan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Moreta (2011). Senyawa fenolik bersifat antioksidan, antikanker, anti aging serta mencegah kerusakan ginjal. Sumartono (1980) melaporkan bahwa dalam beras ketan hitam terdapat zat warna antosianin yang dapat digunakan sebagai pewarna makanan alami. Aleuron dan endospermia mengandung gen yang memproduksi antosianin dengan intensitas yang tinggi, sehingga akan menghasilkan beras berwarna hitam. Pembuatan produk pengganti beras yang berbahan baku dari onggok jika dikombinasikan dengan ketan hitam akan menghasilkan suatu produk pengganti beras yang memiliki efek kesehatan. Tingginya kandungan fenolik dan *dietary fiber* pada ketan hitam dan onggok akan menghasilkan suatu produk yang bersifat fungsional. Selain itu ketan hitam juga akan memperbaiki sifat sensori dari beras onggok, terutama tekstur dan aroma.

Kandungan total fenol pada ketan hitam dan berbagai produk olahannya yang didasarkan pada standar asam galat dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan fenolik pada olahan ketan hitam

Produk	Total fenolik (mg GAE/ g ekstrak)
Katul	91,41
Beras ketan hitam	50,55
Bubur	6,71
Kukus	1,41
Tape	2,74
Rengginang	1,74

Sumber : Moreta (2011).

2.3 Pangan Fungsional

Dasar pertimbangan konsumen di negara-negara maju dalam memilih bahan pangan, bukan hanya bertumpu pada kandungan gizi dan kelezatannya, tetapi juga pengaruhnya terhadap kesehatan tubuhnya (Goldberg, 1994). Saat ini pangan telah diandalkan sebagai pemelihara kesehatan dan kebugaran tubuh. Bahkan bila dimungkinkan, pangan harus dapat menyembuhkan atau menghilangkan efek negative dari penyakit tertentu (Shela, 2011).

Pangan fungsional adalah bahan pangan yang mengandung senyawa atau komponen yang berkhasiat bagi kesehatan. Senyawa atau komponen tersebut antara lain serat pangan, oligosakarida, asam amino, peptida, protein, glikosida, isoprenoida, vitamin, kolin, mineral, bakteri asam laktat, asam lemak tidak jenuh, dan antioksidan (Golberg, 1994). Beberapa fungsi fisiologis yang diharapkan dari pangan fungsional antara lain adalah pencegahan dari timbulnya penyakit,

meningkatnya daya tahan tubuh, regulasi kondisi ritme fisik tubuh, memperlambat proses penuaan, dan menyetatkan kembali (Shela, 2011).

Menurut para ilmuwan Jepang, beberapa persyaratan yang harus dimiliki oleh suatu produk agar dapat dikatakan sebagai pangan fungsional adalah, (1) Harus merupakan produk pangan (bukan berbentuk kapsul, tablet, atau bubuk) yang berasal dari bahan (*ingredient*) alami, (2) Dapat dan layak dikonsumsi sebagai bagian dari diet atau menu sehari-hari, (3) Mempunyai fungsi tertentu pada saat dicerna, serta dapat memberikan peran dalam proses tubuh tertentu. Kandungan serat pangan yang terdapat pada onggok serta kandungan fenolik yang terdapat pada ketan akan menyebabkan produk olahan dari bahan tersebut bersifat fungsional karena kandungan pada bahan tersebut memenuhi persyaratan untuk diklasifikasikan sebagai produk fungsional.

2.5 Daya Cerna Pati

Berdasarkan daya cernanya, pati dapat dikelompokkan menjadi pati yang dapat dicerna dengan cepat atau *rapidly digestible starch* (RDS), pati yang memiliki daya cerna lambat atau *slowly digestible starch* (SDS) dan *Resistant starch* (RS), yaitu pati yang sulit dicerna di dalam usus halus (Englyst *et al.* 1992). RDS adalah jenis pati yang dapat dihidrolisis secara sempurna oleh enzim amylase. Pati yang dapat dicerna dengan cepat yaitu sekitar 20-30 menit sehingga akan meningkatkan persediaan glukosa dalam tubuh dengan cepat. Sedangkan SDS dihidrolisis secara lambat oleh enzim amylase sehingga menyebabkan kenaikan glukosa dalam darah menjadi lambat (Sajilata *et al.*, 2006).

RS dapat diklasifikasikan menjadi empat tipe, yaitu RS1, RS2, RS3, dan RS4. RS1 resisten dalam saluran pencernaan disebabkan pati ini dilindungi dari enzim pencernaan oleh komponen lain yang secara normal ada dalam matriks pati. Terdapat pada biji-bijian sereal yang digiling secara parsial (Bastian, 2011). Pati resisten tipe 2 merupakan pati yang memiliki bentuk granula dan tahan terhadap enzim pencernaan. Tipe ini biasanya terdapat pada kentang dan pisang mentah. Pati resisten tipe 3 adalah pati resisten yang paling banyak dijumpai, merupakan fraksi pati dan umumnya sebagai retrogradasi amilosa, terbentuk selama proses pendinginan dan pemanasan yang berulang. Secara kimiawi, fraksi pati yang tahan terhadap pemanasan maupun enzim pencernaan, umumnya hanya dapat terdispersi dengan menggunakan KOH atau dimetil sulfooksida (Asp dan Bjorck 1992). Pati resisten tipe IV, sifat resistennya diakibatkan ikatan kimia yang tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan disebabkan oleh modifikasi pati. Contohnya pati ikatan silang, pati ester dan pati ether (Bastian, 2011).

Pati dapat dicerna apabila telah mengalami proses gelatinisasi. Pomeranz (1991) menyatakan bahwa gelatinisasi merupakan proses pembengkakan granula pati ketika dipanaskan dalam media air. Granula pati tidak larut dalam air dingin, tetapi granula pati dapat mengembang dalam air panas. Naiknya suhu pemanasan akan meningkatkan pembengkakan granula pati. Pembengkakan granula pati menyebabkan terjadinya penekanan antara granula pati dengan lainnya. Mula-mula pembengkakan granula pati bersifat *reversible* (dapat kembali ke bentuk awal), tetapi ketika suhu tertentu sudah terlewati, pembengkakan granula pati menjadi *irreversible* (tidak dapat kembali). proses gelatinisasi melibatkan peristiwa-peristiwa seperti hidrasi dan swelling (pengembangan) granula,

hilangnya sifat *birefringent*, peningkatan kejernihan, peningkatan konsistensi dan pencapaian viskositas puncak, pemutusan molekul-molekul linier dan penyebarannya dari granula yang telah pecah.

Pati yang telah tergelatinisasi dapat dikonversi menjadi gula antara lain melalui proses hidrolisis menggunakan katalis enzim. Enzim yang dapat digunakan adalah α -amilase, β -amilase, amiloglukosidase, glukosa isomerase, pullulanase, dan isoamilase. Salah satu enzim yang biasa digunakan untuk proses hidrolisis pati secara sinergis adalah enzim α -amilase. Enzim α -amilase adalah endo-enzim yang bekerjanya memutus ikatan α -1,4 secara acak di bagian dalam molekul baik pada amilosa maupun amilopektin (Tjokroadikoesoemo, 1986).

Cara kerja α -amilase pada molekul amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltosa dan berbagai jenis α -limit dekstrin. Jenis α -limit dekstrin yaitu oligosakarida yang terdiri dari 4 atau lebih residu glukosa yang semuanya mengandung ikatan α -1,6. Aktivitas α -amilase ditentukan dengan mengukur hasil degradasi pati, biasanya diukur dari penurunan kadar pati yang larut atau dari kadar amilosa bereaksi dengan iodium akan berwarna coklat. Selain itu keaktifan α -amilase dapat dinyatakan dengan cara pengukuran viskositas dan jumlah pereduksi yang terbentuk. Hidrolisis amilosa akan lebih cepat daripada hidrolisis rantai yang bercabang seperti amilopektin atau glikogen. Laju hidrolisis akan meningkat bila tingkat polimerisasi menurun, dan laju hidrolisis akan lebih cepat pada rantai lurus (Winarno, 1995).

Berdasarkan daya cernanya kandungan amilopektin dan amilosa yang terdapat pada bahan berpengaruh terhadap daya cerna pati. Dilihat dari mekanisme kerja

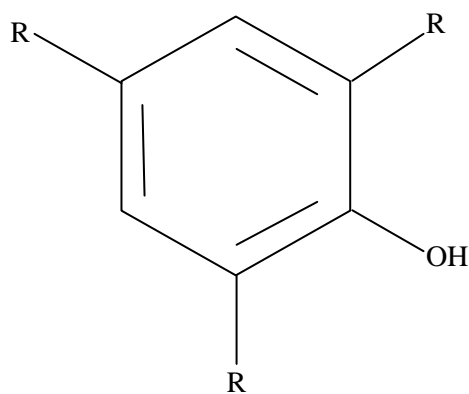
enzimatis, amilosa dapat dihidrolisis hanya dengan satu enzim saja yaitu α -amilase. Sedangkan amilopektin memerlukan dua jenis enzim yakni α -amilase dan α -(1-6) glukosidase karena mempunyai rantai cabang. Selain itu berat molekul amilopektin lebih besar dibandingkan amilosa sehingga berdasarkan pertimbangan ini maka amilopektin memerlukan waktu lebih lama untuk dicerna dibandingkan dengan amilosa (Lehninger, 1982). Semakin banyak amilopektin yang terdapat pada suatu bahan maka daya cerna patinya lebih lambat bila dibandingkan dengan bahan pangan yang memiliki kandungan amilosanya lebih tinggi (Argasmita,2008).

2.6 Senyawa Fenol

Fenol adalah senyawa dengan suatu gugus -OH yang terikat pada cincin aromatik (Fessenden dan Fessenden, 1982). Fenolik merupakan metabolit sekunder yang tersebar dalam tumbuhan. Senyawa fenolik dalam tumbuhan dapat berupa fenol sederhana, antraquinon, asam fenolat, kumarin, flavonoid, lignin dan tanin. Fenolik diproduksi dalam tanaman melalui jalur sikimat dan metabolisme fenil propanoid. Senyawa fenolik telah diketahui memiliki berbagai efek biologis seperti aktivitas antioksidan melalui mekanisme sebagai pereduksi, penangkap radikal bebas, pengkhelat logam, peredam terbentuknya oksigen singlet serta pendonor electron (Pratimasari, 2009).

Hampir semua tanaman mengandung senyawa fenol termasuk ketan hitam. Fenol umumnya terdapat dalam bentuk asam fenolik, flavonoid, stilbenes, asam kumarat, dan asam tanat. Fenol pada bahan pangan dapat dikelompokkan menjadi fenol sederhana dan asam fenolat (p-kresol, 3 etil fenolik, 3,4-dimetilfenol,

hidroksiquinon, vanillin, asam galat), turunan asam hidroksi sinamat (p-kumarat, kafeat asam ferulat, dan asam klorogenat). Bermond (1990) yang dikutip oleh subeki (1998), menyebutkan bahwa fenol dapat digolongkan menjadi yang dapat menangkap radikal oksigen (kamferol, naringenin, apigenin, dan naringin), fenol yang dapat menghilangkan pengaruh radikal oksigen (mircetin, delpinidin, dan kuercentin), fenol yang dapat bersifat sebagai antioksidan atau prooksidan tergantung pada konsentrasinya (phloretin, sianin, katekin, dan morin) serta fenol yang bersifat inaktif (rutin dan phloridin). Struktur fenol dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur senyawa fenol
Sumber : Murhadi, (2003).

Pengaruh antioksidan terhadap otooksidasi tergantung pada struktur antioksidan, kondisi oksidasi, dan substrat yang dioksidasi. Menurut Shahidin dan Nacz (1995), fenol bersifat sebagai antioksidan bila terdapat pada konsentrasi yang rendah, sedangkan pada konsentrasi tinggi aktivitas antioksidan fenolik akan hilang dan berubah menjadi prooksidan. Reaksi pencoklatan enzimatis dapat terjadi karena adanya jaringan tanaman yang terluka, misalnya memar akibat pemotongan dan lain-lain. Bagian yang terluka tersebut secara cepat menjadi

berwarna gelap karena terjadi kontak dengan udara. Selain itu asam fenolik juga akan menyebabkan perubahan warna pada produk pangan. Perubahan warna disebabkan karena proses pencoklatan secara enzimatik oleh reaksi oksidasi yang dikatalis oleh enzim fenol oksidase. Reaksi pencoklatan karena hidroksilasi sekunder orto quinon kemudian akan berinteraksi dengan senyawa trihidroksi benzene yang akan membentuk hidroksiquinon (Winarno, 1992).