

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Industri Sagu

1. Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.)

Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) merupakan tanaman penghasil pati yang sangat potensial di masa yang akan datang. Tanaman sagu atau *Metroxylon sagu* Rottboell termasuk family *Palmae* genus *Metroxylon*. Nama *Metroxylon* berasal dari dua kata yaitu *Metro* berarti empulur dan *xylon* berarti xylem, sedangkan sagu adalah pati. *Metroxylon sagu* berarti tanaman yang menyimpan pati pada batangnya. Spesies yang mempunyai nilai ekonomi adalah *M. sagu* R yang tidak berduri dan *M. rumphii* yang pelepah dan daun ditutupi duri (Flach, 1997).

Tanaman sagu memerlukan waktu 11 tahun dalam siklus hidupnya (dari biji sampai membentuk biji) yang terdiri dari empat fase pertumbuhan yaitu fase awal pertumbuhan atau gerombol (*russet*) diperlukan waktu 3,75 tahun, fase batang diperlukan waktu 4,5 tahun, fase *inflorescensia* (pembungaan) diperlukan waktu satu tahun dan fase pembentukan biji diperlukan waktu selama satu tahun. Pati sagu terakumulasi dalam empulur batang sagu dari dasar sampai pucuk. Dalam semua tahap pertumbuhan, jumlah senyawa fenolik kurang dari 1%, di mana kandungan lignin berkisar 9 sampai 22% (Flach, 1997). Tanaman sagu tumbuh secara alami terutama di daerah dataran atau rawa dengan sumber air yang

melimpah. Menurut Mulyanto dan Suwardi (2000), tanaman sagu dapat tumbuh pada ketinggian 0 - 700 m di atas permukaan laut, tetapi dapat tumbuh secara optimal pada ketinggian 0 - 400 m di atas permukaan laut dengan suhu 24 - 30°C. Sagu tumbuh di daerah rawa yang berair tawar atau daerah yang bergambut dan di daerah sepanjang aliran sungai, sekitar sumber air atau di hutan-hutan rawa yang kadar garamnya (salinitas) tidak terlalu tinggi (Baharudin dan Taskirawati, 2009). Tanaman sagu dapat dilihat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Tanaman sagu (Mc Clatchey *et al.*, 2006).

2. Proses Produksi Sagu

Pati sagu merupakan hasil proses ekstraksi empelur batang (*Metroxylon spp.*). Faktor genetik dan proses ekstraksi sangat mempengaruhi sifat dan kualitas pati, seperti penggunaan alat, cara penyimpanan potongan batang sagu, dan penyaringan (Flach, 1997). Menurut Louhenapessy (1997), langkah-langkah pokok dalam kegiatan pengolahan batang sagu sebagai berikut:

a. Proses penebangan dan pembuangan kulit batang sagu

Pohon sagu ditebang dan batang sagu dibersihkan dari bekas-bekas pelepah mulai dari pangkal tebang sampai dengan 1 m dari daun terbawah, batang dibagi-bagi biasanya setiap 2-3 m dan dibelah menjadi dua.

b. Proses penghancuran empelur batang sagu

Batang sagu yang telah dibersihkan dan dipotong kemudian diparut untuk mendapatkan remahan batang sagu.

c. Proses ekstraksi

Remahan batang sagu kemudian diberi air untuk mengeluarkan larutan pati sagu, kemudian disaring untuk membebaskan pati sagu dari hampas dan bahan lain selain pati.

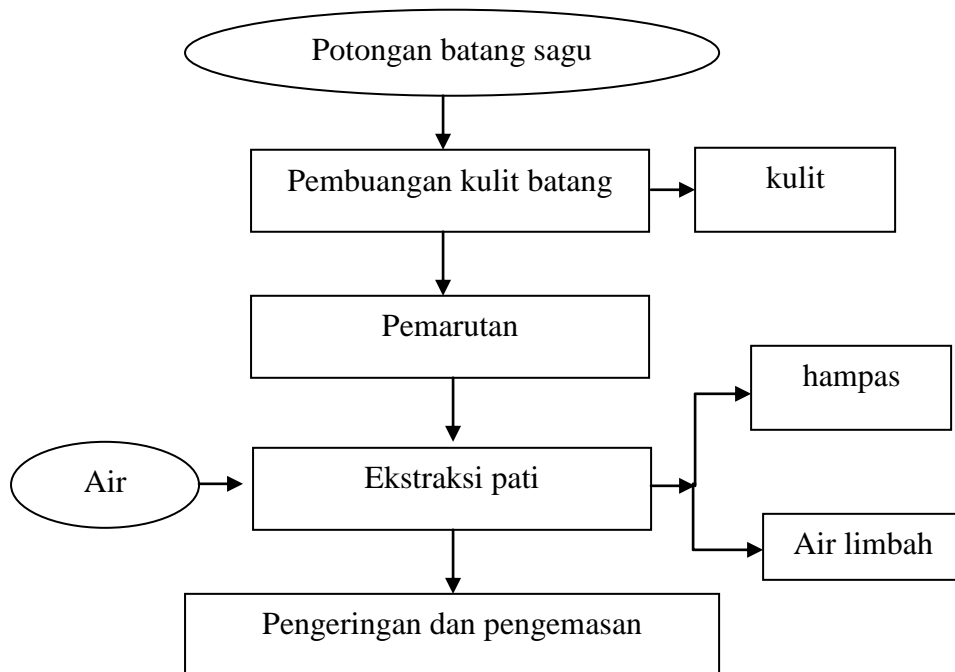
d. Proses pengendapan

Hasil ekstraksi berupa larutan pati kemudian diendapkan dalam bak penampungan. Pada industri moderen, dilakukan proses pengendapan, larutan pati hasil ekstraksi akan melalui tahap sentrifugasi sehingga terjadi pemisahan antara padatan yang berupa pati dan air. Air dari padatan pati yang telah mengendap kemudian dibuang sehingga diperoleh padatan pati.

e. Proses pengeringan

Padatan hasil proses pengendapan kemudian dikeringkan menggunakan alat pengering ataupun sinar matahari. Kadar air pati kering berkisar 13-14% .

Diagram alir proses produksi sagu seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses produksi sagu (Adeni *et al.*, 2010).

B. Air Limbah Industri Sagu

Limbah pada dasarnya suatu bahan yang terbangun atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia, maupun proses-proses alam dan tidak atau belum mempunyai nilai ekonomis. Limbah umumnya dibagi menjadi tiga, yaitu limbah yang berbentuk cair (air limbah), limbah yang berbentuk padat (limbah padat) dan limbah yang berbentuk gas (limbah gas) (Murtadho dan Said, 1988 dalam Vegantara, 2009). Air limbah industri sagu berasal dari proses penyaringan bubur empelur sagu (ekstraksi) dan pengendapan pati. Menurut Bujang dan Ahmad (2000), untuk menghasilkan 1 Kg tepung sagu akan dihasilkan air limbah sebanyak 20 Liter. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Phang *et al.* (2000) air limbah biasanya dibuang ke sungai mengandung karbon yang sangat tinggi untuk rasio nitrogen (105:0,12). Karakteristik air limbah industri sagu disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Air limbah Industri Sagu.

Parameter	Nilai	Satuan
pH	0,00 – 4,20	-
COD	1.280 – 5.130	mg/L
TSS	120 – 620	mg/L
C:N:P	105:0,12:1	-

*C: berasal dari COD x 12/32

Sumber: Phang *et al.* (2000)

Menurut Karim *et al.* (2008), komponen non pati dalam batang sagu umumnya berupa fiber, hemiselluloses, bahan-bahan pembangun struktur sel, padatan yang terlarut dan komponen mikro yang tidak terlarut. Ekstraksi batang sagu menggunakan NaOH encer dengan konsentrasi 5% menghasilkan hemicellulose yang kaya akan Xylosa dan lebih sedikit glukosa, arabinosa, galaktosa, rhamnosa bersama-sama dengan 7,4% asam uronat, dan 3,9% lignin. Enam jenis asam fenolat dan aldehid terdeteksi dalam lignin terlarut, lignin dalam hemicellulose, dan fraksi cellulose. Menurut Pei-Lang *et al.* (2006), kandungan fenolik dalam batang sagu kurang dari 1%. Kandungan 1% fenol dapat menyumbang nilai COD yang cukup tinggi pada air limbah. Kandungan senyawa fenolik berupa enzim oksidase polifenol dan peroksidase dapat menyebabkan reaksi browning dan pencoklatan pada air limbah hasil ekstraksi (Onsa *et al.*, 2007).

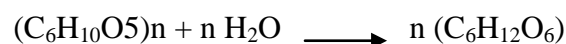
C. Pengelolaan Air Limbah Secara Anaerobik

Proses pengolahan anaerobik adalah proses pengolahan senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah menjadi gas metana dan karbon dioksida tanpa memerlukan oksigen. Penguraian senyawa organik seperti karbohidrat, lemak dan protein yang terdapat dalam limbah cair dengan proses anaerobik akan

menghasilkan biogas yang mengandung metana (50-70%), CO₂ (25-45%) dan sejumlah kecil nitrogen, hidrogen, dan hidrogen sulfida. Menurut Wahyuni (2011), penguraian dengan proses anaerobik secara umum dapat disederhanakan menjadi tiga tahap yaitu tahap hidrolisis, tahap pengasaman (Asidifikasi) dan tahap pembentukan metana (Metanogenesis).

1. Tahap Hidrolisis

Tahap hidrolisis dimulai dengan penguraian bahan-bahan organik kompleks yang mudah larut atau senyawa rantai panjang seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana. Tahap hidrolisis juga diartikan sebagai perubahan struktur bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Senyawa-senyawa monomer hasil penguraian diantaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO₂, dan hidrokarbon. Senyawa tersebut dimanfaatkan oleh bakteri yang melakukan fermentasi sebagai sumber karbon dan energi.



2. Tahap Pengasaman (Asidifikasi)

Senyawa sederhana (komponen monomer) yang terbentuk dari tahap hidrolisis dijadikan sumber energi bagi bakteri pembentuk asam. Bakteri tersebut menghasilkan senyawa asam, seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, asam laktat, serta produk sampingan berupa alkohol, CO₂, hidrogen, dan amonia.

Menurut Manurung (200,) Lingkungan memiliki peranan yang besar pada laju pertumbuhan mikroorganisme baik pada proses aerobik maupun anaerobik. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses anaerobik antara lain temperatur, pH, konsentrasi substrat, dan zat beracun.

a. Temperatur

Gas metana dapat dihasilkan jika suhu antara 4 – 60°C dan suhu dijaga konstan. Bakteri akan menghasilkan enzim yang lebih banyak pada temperatur optimum. Semakin tinggi temperatur reaksi juga akan semakin cepat tetapi bakteri akan semakin berkurang. Proses pembentukan metana bekerja pada rentang temperatur 30 - 40°C, tapi dapat juga terjadi pada temperatur rendah (4°C). Laju produksi gas akan naik 100 - 400% untuk setiap kenaikan temperatur 12°C pada rentang temperatur 4 - 65°C.

b. Derajat Keasaman (pH)

Bakteri penghasil metana sangat sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH optimum untuk jenis bakteri penghasil metana berkisar antara 6,4 - 7,4. Bakteri yang tidak menghasilkan metana tidak begitu sensitif terhadap perubahan pH dan dapat bekerja pada pH antara 5 - 8,5. Karena proses anaerobik terdiri dari dua tahap yaitu tahap pembentukan asam dan tahap pembentukan metana, maka pengaturan pH awal proses sangat penting. Tahap pembentukan asam akan menurunkan pH awal. Jika penurunan ini cukup besar akan dapat menghambat aktivitas mikroorganisme penghasil metana. Untuk meningkatkan pH dapat dilakukan dengan penambahan kapur.

c. Konsentrasi Substrat

Sel mikroorganisme mengandung Karbon, Nitrogen, Posfor, dan Sulfur dengan perbandingan 100 : 10 : 1 : 1. Untuk pertumbuhan mikroorganisme, unsur-unsur di atas harus ada pada sumber makanannya (substrat). Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat. Kandungan air dalam substrat dan homogenitas sistem juga mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Karena kandungan air yang tinggi akan memudahkan proses penguraian, sedangkan homogenitas sistem membuat kontak antar mikroorganisme dengan substrat menjadi lebih baik. Keseimbangan karbon dan nitrogen dalam bahan yang digunakan sebagai substrat perlu mendapat perhatian. Oleh karena itu, jika terlalu banyak nitrogen pertumbuhan bakteri akan terhambat, dalam hal ini terutama bahan yang kandungan amoniaknya sangat tinggi.

d. Zat Baracun

Zat organik maupun anorganik, baik yang terlarut maupun tersuspensi dapat menjadi penghambat ataupun racun bagi pertumbuhan mikroorganisme jika terdapat pada konsentrasi yang tinggi. Untuk logam pada umumnya sifat racun akan semakin bertambah dengan tingginya valensi dan berat atomnya. Bakteri penghasil metana lebih sensitif terhadap racun daripada bakteri penghasil asam.

Menurut Tchobanoglous, *et al.*, (2003), dalam pengolahan air limbah secara anaerobik terdapat kelebihan dan keterbatasan.

Kelebihan dari pengolahan air limbah secara anaerobik antara lain:

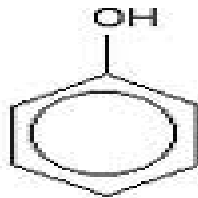
1. Kebutuhan energi relatif rendah karena tidak memerlukan aerasi,
2. Produksi lumpur sedikit, relatif lebih stabil dan mudah dikeringkan,
3. Tidak memerlukan banyak bahan tambah untuk memperlancar proses penguraian,
4. Terdapat kemungkinan untuk memanfaatkan biogas yang dihasilkan,
5. Lumpur (biomass) yang dihasilkan dapat disimpan lama dan digunakan sebagai bibit untuk reaktor anaerobik baru,
6. Dapat dibebani dengan air limbah yang mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi sehingga volume reaktor yang dibutuhkan lebih kecil,
7. Terdapat kemungkinan untuk mempergunakan nutrien yang terdapat pada hasil pengolahan.

Sedangkan keterbatasan pengelolaan air limbah secara anaerobik antara lain:

1. Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan jumlah lumpur yang cukup relatif lama,
2. Sensitif terhadap perubahan lingkungan dan operasional,
3. Terdapat kemungkinan adanya bau yang tidak sedap dan timbulnya gas yang bersifat korosif,
4. Pada dasarnya, pengolahan anaerobik hanyalah bersifat pengolahan pendahuluan, sehingga diperlukan pengolahan tambahan agar air hasil olahan memenuhi standar yang berlaku.

D. Senyawa Fenol

Fenol adalah senyawa yang memiliki satu atau lebih gugus hidroksil yang melekat langsung ke cincin aromatik. Senyawa aromatik mengandung cincin karboaromatik yaitu cincin aromatik yang hanya terdiri dari atom karbon seperti benzen, naftalen dan antrasen. Senyawa fenol merupakan karakteristik tanaman dan sebagai kelompok fenol biasanya ditemukan sebagai ester atau glikosida bukan sebagai senyawa bebas. Sedangkan polyphenol adalah senyawa yang memiliki lebih dari satu kelompok hidroksil fenol melekat pada satu atau lebih cincin benzena. Struktur fenol dapat dilihat seperti Gambar 5.



Gambar 5. Rumus bangun fenol

Menurut Harborne dan Simmonds (1964) dalam Vermerris dan Nicholson (2006), senyawa fenol diklasifikasikan ke dalam kelompok berdasarkan jumlah karbon dalam molekul seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Senyawa Fenol

Struktur	Kelompok
C6	Fenolik sederhana
C6 – C1	fenolik asam dan senyawa terkait
C6 – C2	acetophenones dan asam fenilasetat
C6 – C3	sinamat asam, aldehida cinnamyl, cinnamyl alkohol
C6 – C3	coumarins, isocoumarins, and chromones
C15	chalcones, aurones, dihydrochalcones
C15	flavans
C15	flavones
C15	flavanones
C15	flavanonols
C15	anthocyanidin
C15	anthocyanin
C30	biflavonyls
C6 – C1 – C6, C6 – C2 – C6	benzoPhenones, xanthones, stilbenes
C6, C10, C14	quinon
C18	betacyanin
Lignan, neolignan	dimer atau oligomer
Lignin	polimer
Tannin	oligomer atau polymer
Phlobaphenes	polymer

Sumber: Vermerris dan Nicholson (2006)

Fenol memiliki kelarutan terbatas dalam air, yakni 8,3 gram/100 mL. Fenol memiliki sifat yang cenderung asam, artinya fenol dapat melepaskan ion H^+ dari gugus hidroksilnya. Pengeluaran ion tersebut menjadikan anion fenoksida $C_6H_5O^-$ yang dapat dilarutkan dalam air. Dibandingkan dengan alkohol alifatik lainnya, fenol bersifat lebih asam. Hal ini dibuktikan dengan mereaksikan fenol dengan NaOH, di mana fenol dapat melepaskan H^+ . Pada keadaan yang sama, alkohol alifatik lainnya tidak dapat bereaksi seperti itu. Pelepasan ini diakibatkan pelengkapan orbital antara satu-satunya pasangan oksigen dan sistem aromatik, yang mendelokalisasi beban negatif melalui cincin tersebut dan menstabilkan anionnya (Vermerris dan Nicholson, 2006).

E. Mikroorganisme Pengurai Komponen Organik Air Limbah

Dalam penanganan air limbah, mikroorganisme merupakan dasar fungsional untuk sejumlah proses penanganan. Hal utama dalam penanganan air limbah adalah pengembangan dan pemeliharaan kultur mikroba yang cocok. Proses penanganan air limbah secara biologi terdiri dari campuran mikroorganisme yang mampu memetabolisme limbah organik. Mikroorganisme yang ditemukan dalam air dan digolongkan dalam empat grup yaitu: virus, organisme prokariotik, organisme eukariotik, dan invertebrata sederhana. Organisme prokariotik dan eukariotik bersel tunggal, sedangkan invertebrata bersel jamak. Virus adalah partikel-partikel yang tidak hidup yang berkaitan dengan organisme hidup. Salah satu jenis mikroorganisme yang berperan dalam penanganan air limbah yaitu bakteri (Jenie dan Rahayu, 1990).

Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme terpenting dalam penanganan air limbah. Dalam air dan penanganan air limbah bakteri penting karena beberapa jenis sifat patogenik (menyebabkan penyakit) dan karena kultur bakteri dapat digunakan untuk menghilangkan bahan organik dan mineral yang tidak diinginkan dari air limbah. Kebanyakan bakteri adalah kemoheterotrofik yaitu menggunakan bahan organik sebagai sumber energi dan karbon. Beberapa spesies mengoksidasi senyawa-senyawa anorganik tereduksi seperti NH_3 untuk energi dan menggunakan CO_2 sebagai sumber karbon. Bakteri ini disebut kemoautotrofik. Sebagian bakteri bersifat fotosintetik dan menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi dan karbondioksida sebagai sumber karbon. Bakteri kemoheterotrofik merupakan bakteri terpenting dalam penanganan air limbah

karena bakteri-bakteri ini akan memecah bahan organik. Bakteri kemoautotrofik juga berperan penting dalam pengolahan limbah terutama bakteri nitrifikasi yang mengoksidasi amino nitrogen menjadi nitrogen nitrat. Bakteri aerobik dan fakultatif aktif dalam semua unit penanganan aerobik, sedangkan bakteri anaerobik fakultatif dan obligat aktif dalam unit penanganan anaerobik. Bakteri terdapat dalam proses pengolahan limbah dalam bentuk gumpalan dari berbagai bentuk dan jenis (Jenie dan Rahayu, 1990).