

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air Limbah Industri Gula

Industri gula merupakan salah satu industri terbesar di dunia (Khoram, 2013).

Menurut Awasthi *et al.* (2011) gula tebu telah diproduksi oleh lebih dari 110 negara. Industri gula juga diketahui menjadi industri dengan pemakaian air secara intensif yang artinya bahwa industri gula menggunakan banyak air dalam proses produksinya. Industri gula dalam prosesnya akan mengeluarkan limbah padat, cair, dan gas. Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga) yang kehadirannya pada saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki karena tidak memiliki nilai ekonomis.

Kehadiran limbah dapat berdampak negatif bagi lingkungan terutama kesehatan manusia sehingga perlu dilakukan penanganan limbah. Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung jenis dan karakteristik limbah. Menurut Kuntoro (2010), industri gula dengan perkebunan 35.000 Ha dan mempunyai kapasitas giling 12.000 Ton tebu per hari, maka akan dihasilkan limbah cair sebanyak 6000 m³ per hari.

Berdasarkan karakteristiknya, limbah industri digolongkan menjadi:

1. Limbah cair
2. Limbah padat

3. Limbah gas dan partikel
4. Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)

Limbah cair pabrik gula meliputi bekas air kondensor dan bekas air cucian proses. Air cucian proses termasuk air cucian evaporator, buangan ketel dan peralatan lain, bekas air cucian lantai, tumpahan nira, tetes dan lain-lain. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan terhadap beberapa pabrik gula di Indonesia, nilai COD air buangan pabrik gula bisa bervariasi mulai di bawah 100 mg/l sampai di atas 700 mg/l. Hal ini tidak sama untuk setiap pabrik gula, tergantung pada cara pengolahan, kondisi peralatan dan kebersihan di masing-masing pabrik. Rahadi (2011) melaporkan bahwa bekas air kondensor (air injeksi) memiliki BOD dan COD yang tidak begitu tinggi. Oleh karena itu bisa diduga bahwa tingginya angka COD disebabkan oleh bekas air cucian proses, sehingga tinggi rendahnya angka ini sangat bervariasi untuk tiap pabrik gula.

Tabel 1. Karakteristik air limbah industri gula

Parameter	Konsentrasi
pH	5,2-6,5
Warna	Kuning kecoklatan
Total Suspended Solid/TSS (mg/l)	760-800
Volatile Suspended Solids/VSS (mg/l)	173-2190
Total Kjeldahl nitrogen/TKN (mg/l)	15-40
Pospor (mg/l)	1,3-2,5
COD (mg/l)	1000-4340
BOD (mg/l)	350-2750

Sumber : Hampannavar *et al.*, 2010

Pada umumnya air limbah industri gula memiliki karakteristik yaitu mengandung bahan-bahan organik yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai BOD yang

tinggi dimana bahan organik tersebut digunakan sebagai makanan untuk bakteri. Karakteristik lainnya yaitu memiliki warna kecoklatan, bau seperti tebu bakar, suhu yang tinggi, rendah nilai pH, tinggi kadar abu atau residu padat dan mengandung persentase yang tinggi berupa bahan organik dan anorganik terlarut sekitar 50% bisa dianggap sebagai pengurangan rendemen gula (Memon dkk, 2006). Hal ini juga yang menyebabkan meningkatnya mikroorganisme dalam air. Peningkatan jumlah bakteri ini yang kemudian menggunakan semua oksigen terlarut dalam air (Chicas, 2008).

2.2. Pengolahan Air Limbah

Pengolahan limbah cair bertujuan untuk menghilangkan atau menyisihkan kontaminan. Kontaminan dapat berupa senyawa organik yang dinyatakan oleh nilai BOD, COD, nutrient, senyawa toksik, mikroorganisme pathogen, partikel non biodegradable, padatan tersuspensi maupun terlarut. Kontaminan dapat disisihkan dengan pengolahan fisik, kimia maupun biologi (Metcalf and Eddy, 2004).

Pengelolaan limbah adalah kegiatan terpadu yang meliputi kegiatan pengurangan (*minimization*), segregasi (*segregation*), penanganan (*handling*), pemanfaatan dan pengolahan limbah. Kegiatan pendahuluan pada pengelolaan limbah (pengurangan, segregasi dan penanganan limbah) dapat membantu mengurangi beban pengolahan limbah di IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). Saat ini, tren pengelolaan limbah di industri adalah menjalankan secara terintegrasi kegiatan pengurangan, segregasi dan handling limbah sehingga menekan biaya dan menghasilkan output limbah yang lebih sedikit serta minim tingkat

pencemarnya. Integrasi dalam pengelolaan limbah tersebut kemudian dibuat menjadi berbagai konsep seperti: produksi bersih (*cleaner production*), atau minimasi limbah (*waste minimization*).

Pengolahan limbah adalah upaya terakhir dalam sistem pengelolaan limbah setelah sebelumnya dilakukan optimasi proses produksi dan pengurangan serta pemanfaatan limbah. Pengolahan limbah dimaksudkan untuk menurunkan tingkat cemaran yang terdapat dalam limbah sehingga aman untuk dibuang ke lingkungan. Limbah yang dikeluarkan dari setiap kegiatan akan memiliki karakteristik yang berlainan. Hal ini karena bahan baku, teknologi proses, dan peralatan yang digunakan juga berbeda. Namun akan tetap ada kemiripan karakteristik diantara limbah yang dihasilkan dari proses untuk menghasilkan produk yang sama.

Karakteristik utama limbah didasarkan pada jumlah atau volume limbah dan kandungan bahan pencemarnya yang terdiri dari unsur fisik, biologi, kimia dan radioaktif. Karakteristik ini akan menjadi dasar untuk menentukan proses dan alat yang digunakan untuk mengolah air limbah. Adapun tahapan dan jenis proses serta alat yang digunakan untuk mengolah air limbah adalah sebagai berikut:

a. Tahapan proses

Pengolahan air limbah biasanya menerapkan 3 tahapan proses yaitu pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*), pengolahan utama (*primary treatment*), dan pengolahan akhir (*post treatment*). Pengolahan pendahuluan ditujukan untuk mengkondisikan aliran, beban limbah dan karakter lainnya agar sesuai untuk masuk ke pengolahan utama. Pengolahan utama adalah proses yang dipilih untuk

menurunkan pencemar utama dalam air limbah. Selanjutnya pada pengolahan akhir dilakukan proses lanjutan untuk mengolah limbah agar sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan.

b. Jenis proses dan alat pengolahan

Ada tiga jenis proses yang dapat dilakukan untuk mengolah air limbah yaitu:

1. Proses secara fisik

Proses fisik dilakukan dengan cara memberikan perlakuan fisik pada air limbah seperti menyaring, mengendapkan, atau mengatur suhu proses dengan menggunakan alat screening, grit chamber, dan settling tank (*settling pond*).

2. Proses secara biologi

Proses biologi dilakukan dengan cara memberikan perlakuan atau proses biologi terhadap air limbah seperti penguraian atau penggabungan substansi biologi dengan lumpur aktif (*activated sludge*), attached growth filtration, proses aerobik dan proses an-aerobik.

3. Proses kimia

Proses kimia dilakukan dengan cara membubuhkan bahan kimia atau larutan kimia pada air limbah agar dihasilkan reaksi tertentu. Untuk suatu jenis air limbah tertentu, ketiga jenis proses dan alat pengolahan tersebut dapat diaplikasikan secara sendiri-sendiri atau dikombinasikan dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi dan pengelolaannya. Sebagian besar limbah cair industri pangan dapat ditangani dengan mudah dengan sistem biologis, karena polutan utamanya berupa bahan organik, seperti karbohidrat, lemak, protein, dan vitamin. Polutan tersebut umumnya dalam bentuk tersuspensi atau terlarut.

Tujuan dasar pengolahan limbah cair adalah untuk menghilangkan sebagian besar padatan tersuspensi dan bahan terlarut, dan juga untuk pemisahan unsur hara (nutrien) berupa nitrogen dan fosfor. Secara umum, pengolahan limbah cair dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Pengolahan Primer

Pengolahan primer merupakan pengolahan secara fisik untuk menyisahkan benda-benda terapung atau padatan tersuspensi terendapkan. Pengolahan primer ini berupa penyaringan kasar, dan pengendapan primer untuk memisahkan bahan inert seperti butiran pasir (tanah). Saringan kasar digunakan untuk melewatkan benda berukuran relatif besar. Karena butiran pasir (tanah) merupakan bahan non-biodegradable dan dapat terakumulasi di dasar instalasi pengolahan limbah cair, maka bahan tersebut harus dipisahkan dari limbah cair yang akan diolah.

Pemisahan butiran pasir (tanah) dapat dilakukan dengan bak pengendapan primer. Pengendapan primer ini umumnya dirancang untuk waktu tinggal sekitar 2 jam.

Pengolahan primer hanya dapat mengurangi kandungan bahan yang mengambang atau bahan yang dapat terendapkan oleh gaya gravitasi. Sebagian polutan limbah cair industri pangan terdapat dalam bentuk tersuspensi dan terlarut yang relatif tidak terpengaruh oleh pengolahan primer tersebut. Untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan polutan tersuspensi atau terlarut diperlukan pengolahan sekunder dengan proses biologis (aerobik maupun anaerobik).

2. Pengolahan Sekunder

Pengolahan sekunder (secara biologis) pada prinsipnya adalah pemanfaatan aktivitas mikroorganisme seperti bakteri dan protozoa. Mikroba tersebut mengkonsumsi polutan organik biodegradable dan mengkonversi polutan organik

tersebut menjadi karbondioksida, air dan energi untuk pertumbuhan dan reproduksinya. Oleh karena itu, sistem pengolahan limbah cair secara biologis harus mampu memberikan kondisi yang optimum bagi mikroorganisme, sehingga mikroorganisme tersebut dapat menstabilkan polutan organik biodegradable secara optimum.

Upaya yang dilakukan untuk mempertahankan agar mikroorganisme tetap aktif dan produktif, mikroorganisme tersebut harus dipasok dengan oksigen yang cukup, cukup waktu untuk kontak dengan polutan organik, temperatur dan komposisi medium yang sesuai. Sistem pengolahan limbah cair yang dapat diterapkan untuk pengolahan sekunder limbah cair industri pangan skala antara lain adalah sistem lumpur aktif (*activated sludge*).

Pemanfaatan mikroorganisme anaerobik sudah diterapkan untuk pengolahan limbah cair dengan kandungan padatan organik tersuspensi tinggi. Pengolahan limbah cair dengan sistem ini memiliki berbagai keuntungan seperti rendahnya produksi lumpur, rendahnya konsumsi energi, dan dihasilkannya gas metana (gas bio) sebagai produk samping yang bermanfaat.

Pengolahan limbah secara sekunder dapat mengurangi BOD dan TSS secara signifikan, tetapi efluen masih mengandung amonium atau nitrat, dan fosfor dalam bentuk terlarut. Kedua bahan ini merupakan unsur hara (nutrien) bagi tanaman akuatik. Jika unsur nutrien ini dibuang ke perairan (sungai atau danau), akan menyebabkan pertumbuhan biota air dan pertumbuhan yang berlebih dapat mengakibatkan eutrofikasi dan pendangkalan badan air tersebut. Oleh karena itu, unsur hara tersebut perlu dieliminasi dari efluen.

Nitrogen dalam efluen instalasi pengolahan sekunder kebanyakan dalam bentuk senyawa amonia atau ammonium, tergantung pada nilai pH. Senyawa amonia ini bersifat toksik jika konsentrasinya cukup tinggi. Permasalahan lain yang berkaitan dengan amonia adalah penggunaan oksigen terlarut selama proses konversi dari amonia menjadi nitrat oleh mikroorganisme (nitrifikasi). Oleh karena itu, untuk meningkatkan kualitas efluen dibutuhkan pengolahan tambahan atau pengolahan tersier (*advanced waste water treatment*) untuk mengurangi atau menghilangkan konsentrasi BOD, TSS dan nutrisi (N,P).

3. Proses Tersier

Proses pengolahan tersier yang dapat diterapkan antara lain adalah filtrasi pasir, eliminasi nitrogen (nitrifikasi dan denitrifikasi), dan eliminasi fosfor (secara kimia maupun biologis).

2.3. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di PT. X

PT. X membangun instalasi pengolahan air limbah yang dibangun untuk mengolah seluruh air limbah dari seluruh aktivitas. Sistem yang dibangun ini didesain untuk mengolah seluruh air limbah proses produksi yang debitnya mencapai 6000 m³/hari. Sistem ini terdiri dari empat komponen utama yaitu pengumpulan, pengolahan, pembuangan akhir, dan daur ulang yang dilengkapi jaringan perpipaan distribusi air irigasi. Hasil daur ulang air limbah yang memenuhi baku mutu kemudian dialirkan ke sungai-sungai yang nantinya akan digunakan kembali untuk kebutuhan pengairan di perkebunan tebu.

Proses pengolahan air limbah di PT. X ini menggunakan beberapa kolam aerasi (*aerated lagoon*) yang menggunakan peralatan mekanisme berupa aerator dan kolam stabilisasi yang memanfaatkan oksidasi secara alami dengan bantuan angin, sinar matahari, dan bakteri yang hidup di air tanpa penambahan bahan-bahan kimia ke dalam kolam. Sistem pengolahan ini menerapkan proses bioteknologi dengan menambahkan bakteri campuran yang dikembangbiakkan untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme dalam proses dekomposisi senyawa organik.

Adapun tahapan-tahapan pengolahan air limbah dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) ini adalah :

1. Kolam Pemisah Minyak dan Padatan

Fungsi utama kolam ini yaitu untuk mengendapkan padatan yang terbawa oleh air limbah. Proses pengendapannya memanfaatkan prinsip perbedaan massa jenis antara air dan minyak. Secara logika minyak yang memiliki masa jenis lebih rendah akan berada di bagian atas atau permukaan sedangkan air berada di bagian bawah. Aplikasi yang dilakukan kolam pemisah minyak ini dengan memberikan pemisah berupa lempengan yang diletakkan di ujung kolam pemisah minyak. Namun lempengan tersebut tidak diletakkan sampai dasar sehingga akan berfungsi merangkap minyak yang ada di bagian atas dan air akan keluar dari kolam pemisah minyak menuju kolam ekualisasi.

2. Kolam Ekualisasi

Kolam ekualisasi ini disebut juga kolam penyangga. Air limbah yang mengalir ke IPAL memiliki karakteristik yang berbeda disetiap alirannya.

Hal ini disebabkan laju alir yang dihasilkan dari proses produksi berbeda-beda. Karakteristik air limbah yang masuk memiliki kondisi yang berbeda-beda berupa suhu, debit, pH, kadar pencemar (polutan). Air limbah yang masuk ke kolam ekualisasi diharapkan karakteristik nya menjadi sama atau kondisi menjadi homogen sehingga masing-masing karakteristik konstan. Di kolam ini terdapat aerator yang berfungsi untuk menghomogenkan air limbah yang masuk pada kolam ini. Prinsip aerator sebagai pengaduk dengan memberikan sirkulasi udara sehingga proses aerasi terjadi. Proses aerasi yaitu proses terikat nya udara ke dalam molekul air yang terjadi secara alami. Kolam ini juga menstabilkan debit limbah yang akan dialirkan ke proses selanjutnya.

3. Kolam Anaerob

Pada kolam ini air limbah diproses dengan cara mendegradasi bahan-bahan organik dengan keadaan tanpa oksigen. Meskipun kolam anaerob ini dengan keadaan kolam terbuka namun didesain memiliki kedalaman hingga 6 meter. Dalam hal ini diharapkan pada kedalaman tersebut tetap terjadi proses penguraian secara anaerob. Air limbah yang masuk ke kolam ini juga dirancang khusus agar limbah yang masuk langsung ke bagian bawah kolam. Pada kolam ini ditambahkan bakteri khusus yang berfungsi mendegradasi bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Bakteri yang ditambahkan yaitu bakteri dengan merek dagang AGB (*Activated Growth Bacteria*). Penambahan bakteri ini sangat diharapkan bakteri alami yang terdapat dalam air limbah maupun bakteri tambahan dapat mendegradasi bahan organik secara maksimal dengan tujuan

menurunkan nilai COD hingga maksimal. Pengaplikasian bakteri ini dilakukan 2 kali dalam seminggu. Dalam kondisi normal, bakteri yang digunakan sebanyak 5-7 liter per aplikasi namun jika dalam kondisi tidak normal atau nilai COD meningkat dari kondisi normal bakteri yang digunakan hingga mencapai 25 liter per aplikasi.

4. Kolam Fakultatif

Kolam fakultatif yang diterapkan di PT.X terdapat 5 kolam yang dilengkapi aerator sebanyak 4 buah. Lima kolam ini memiliki volume yang berbeda-beda sehingga memiliki waktu tinggal yang berbeda. Pada kolam ini proses yang terjadi yaitu melanjutkan proses degradasi pada proses sebelumnya. Air limbah yang akan menuju kolam fakultatif diberi tambahan bakteri yang sebelumnya dibiakkan di tangki khusus. Bakteri ini mempunyai fungsi mendegradasi bahan organik dalam keadaan aerob. Jenis bakteri yang ditambahkan ialah bakteri yang dikenal dengan SGB (*Super Growth Bacteria*). Pengaplikasian bakteri ini juga dilakukan 2 kali dalam seminggu sebanyak 5-7 liter per aplikasi dalam kondisi normal dan mencapai 25 liter per aplikasi dalam kondisi tidak normal. Pada kolam ini air limbah mengalami proses degradasi baik secara aerob maupun anaerob. Untuk mendukung proses degradasi secara aerob pada kolam ini terdapat beberapa aerator yang berfungsi mensuplai oksigen.

5. Kolam Aerasi

Kolam aerasi yang dimiliki IPAL PT.X terdapat 2 kolam yang masing-masing dilengkapi beberapa unit aerator. Pada kolam ini tidak terdapat

penambahan zat kimia maupun mikroorganisme di kolam ini. Namun sebagai bioindikator tingkat pencemaran, di kolam ini dibiakkan beberapa jenis ikan. Pada kolam aerasi 2 terdapat eceng gondok yang secara sengaja dikembangbiakkan. Eceng gondok ini diharapkan dapat mengendalikan ledakan pertumbuhan alga (*blooming alga*). Pertumbuhan alga ini dipengaruhi oleh nutrisi seperti nitrat dan pospat yang terkandung dalam air yang merupakan makanan bagi alga. Keberadaan eceng gondok dapat menyebabkan terjadinya kompetisi dengan alga dalam penggunaan nutrisi dan membatasi cahaya matahari yang masuk secara berlebihan. Cahaya matahari sangat dibutuhkan alga untuk berfotosintesis. Pengembangbiakan eceng gondok ini perlu dilakukan untuk mengurangi pertumbuhan alga, karena jika terjadi *blooming alga* akan mengakibatkan kenaikan pH air limbah. Kenaikan pH terjadi karena alga menggunakan karbon dioksida untuk melakukan fotosintesis. Penipisan karbon anorganik oleh alga ini menyebabkan kenaikan pH air. Pada kolam aerasi ini diharapkan COD dalam keadaan serendah-rendahnya dengan oksigen terlarutnya meningkat.

6. Kolam Stabilisasi

Pada kolam ini limbah diharapkan telah mencapai kondisi polutan sangat rendah bahkan tidak berpolutan sama sekali. Di kolam ini tidak dilengkapi aerator dengan tujuan agar air dalam kondisi tenang dan pengendapan berlangsung sempurna. Di kolam stabilisasi ini juga dibiakkan beberapa jenis ikan yang berfungsi sebagai bio-indikator tingkat pencemaran, dan

juga dalam rangka mengikuti ketentuan yang ditetapkan oleh Bapedalda Propinsi Lampung.

7. Kolam Pemantauan (Monitor)

Pada kolam ini tidak ada perlakuan khusus pada limbah, kolam ini sebagai media pengawasan kualitas limbah (pH, COD, TSS, NTU, dan lain-lain) yang telah terolah di IPAL untuk selanjutnya disalurkan sebagian ke lahan menggunakan pompa irigasi dan sebagian lagi ke badan air yaitu Sungai Putak (Way Putak).

Tabel 2 . Jumlah dan ukuran kolam di PT X

Nama Kolam	Kedalaman (m)	Luas (m ²)	Volume (m ³)
Pemisah minyak	4.0	400	1,600
Ekualisasi	5.0	5,940	29,700
Anaerob	6.0	10,150	60,900
Fakultatif #1	3.0	2,800	8,400
Fakultatif #2	3.0	2,800	8,400
Fakultatif #3	3.3	9,637	31,500
Fakultatif #4	4.1	7,973	32,700
Fakultatif #5	3.0	2,040	6,120
Aerasi #1	1.8	10,363	18,654
Aerasi #2	1.8	19,126	34,428
Stabilisasi	1.8	4,500	8,100
Monitor	1.8	2,550	4,590
Total		78,280	245,092

2.4. Fungsi Mikroorganisme Pada Pengolahan Air Limbah

Mikroorganisme memiliki kontribusi yang besar dalam konservasi lingkungan. Hal ini disebabkan bahan organik secara dominan didegradasi dengan menggunakan proses mikrobial pada ekosistem (Baker and Herson 1994; Fujie *et al.*, 1994; Urakawa *et al.*, 2000; Kunihiro *et al.*, 2002 dalam Hasanudin, 2005). Kapasitas masing-masing ekosistem untuk mendegradasi bahan organik dan pengaruhnya terhadap perubahan kondisi lingkungan tidak hanya tergantung pada total populasi kehadiran mikroorganisme dalam sebuah sistem tapi juga tergantung pada struktur komunitas mikroba pada sistem itu (Hu *et al.*, 1999; 2001 dalam Hasanudin 2005). Keberadaan mikroorganisme sangatlah penting pada sebuah ekosistem. Bahan organik yang terkandung dalam air limbah akan digunakan sebagai substrat untuk pertumbuhannya oleh konsorsium organisme tersebut (Goto *et al.*, 2001; Sohma *et al.*, 2001).

Salah satu pengolahan limbah yang memanfaatkan mikroba yakni pengolahan secara biologi. Proses tersebut menggunakan kemampuan mikroba untuk mendegradasi bahan-bahan polutan organik. Proses anaerob adalah pengolahan biologi yang memanfaatkan mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik dalam kondisi tidak didapatkan atau sangat sedikit oksigen terlarut. Keuntungan dan kerugian pengolahan anaerob adalah dalam prosesnya menghasilkan energi dalam bentuk biogas, lumpur yang dihasilkan sedikit, tidak memerlukan lahan yang besar dan tidak membutuhkan energi untuk aerasi.

Kekurangan yang utama pada sistem anaerobik adalah proses pertumbuhan mikroorganismenya lambat yang mempunyai waktu pertumbuhan dalam hitungan

hari bila dibandingkan dengan mikroorganisme yang tumbuh pada proses aerob (Rittman dan Carty, 2001).

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Anaerob

a. Suhu

Bakteri akan menghasilkan enzim yang lebih banyak pada suhu optimum.

Semakin tinggi suhu, reaksi juga akan semakin cepat, tetapi bakteri akan semakin berkurang. Beberapa jenis bakteri dapat bertahan pada rentang suhu tertentu dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Suhu pertumbuhan bakteri

Jenis Bakteri	Rentang Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
Psikrofilik	0-20
Mesofilik	20-45
Termofilik	
a. Fakultatif Termofilik	45-60
b. Obligat Termofilik	> 60

Sumber : Hamdiyati (2012) dalam Amelia (2012)

Proses anaerobik berfungsi efektif pada dua range suhu, range mesophilic (29-38 $^{\circ}\text{C}$) dan range thermophilic (49-57 $^{\circ}\text{C}$) walaupun laju reaksi lebih besar pada range termofilik, akan tetapi membutuhkan biaya yang lebih besar. Tetapi untuk air limbah industri yang suhunya cukup tinggi seperti air limbah industri alkohol, gula, pulp dan lain-lain tentunya akan lebih menguntungkan karena air limbah tidak harus didinginkan terlebih dahulu apabila akan diolah. Dengan semakin cepatnya waktu reaksi tentunya reaktor juga semakin kecil sehingga area yang

dibutuhkan juga makin berkurang namun hal lain yang perlu dipertimbangkan juga adalah apabila akan diambil gas metannya tentunya harus dicari suhu optimum hasil gas metan yang terbanyak.

b. pH

Bakteri metan bekerja pada range pH 6,6–7,6 dengan pH optimum 7. Penurunan nilai pH yang terjadi setelah proses asidifikasi sehingga pH 6, dapat menghambat aktifitas bakteri metan. Bila laju pembentukan asam melampaui laju pemecahannya menjadi metan, proses akan menjadi tidak seimbang dimana pH akan turun, produksi gas berkurang dan kandungan CO₂ pada gas naik. Dengan demikian dibutuhkan pengolahan pH untuk menjamin laju produksi metan. Untuk menetralkan biasanya digunakan kapur tetapi jangan berlebihan karena akan menghasilkan endapan kalsium karbonat. Sebagai alternatif lain dapat digunakan natrium bikarbonat. Diharapkan bikarbonat alkalinitasnya pada range 2500 – 5000 mg/l sebagai kapasitas penyediaan buffer untuk mengatasi kenaikan asam volatile dengan kenaikan pH minimal. Alkalinitas dapat dikontrol dengan mengurangi kecepatan umpan atau menambah alkalinitas pada air limbah.

c. Konsentrasi substrat.

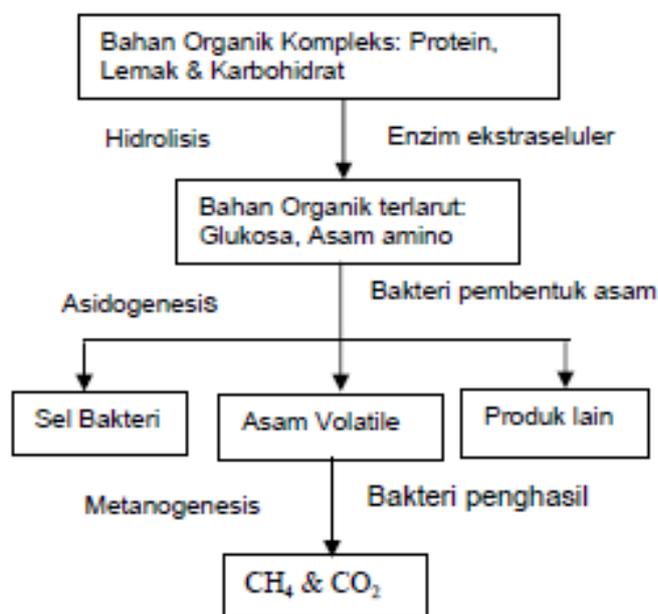
Sel mikroorganisme mengandung karbon, nitrogen, posfor, dan sulfur dengan perbandingan 100:10:1:1. Unsur-unsur tersebut harus ada pada sumber makanan (substrat) untuk pertumbuhan mikroorganisme. Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat. Kandungan air dalam substrat dan homogenitas sistem juga mempengaruhi proses kerja mikro-

organisme. Karena kandungan air yang tinggi akan memudahkan proses penguraian sedang homogenitas sistem membuat kontak antar mikroorganisme dengan substrat menjadi lebih baik (Rao M.N & A.K Datta, 1979 dalam Moertinah, 2010).

d. Zat beracun

Zat organik maupun anorganik, baik yang terlarut maupun tersuspensi dapat menjadi penghambat ataupun racun bagi pertumbuhan mikroorganisme jika terdapat pada konsentrasi yang tinggi. Beberapa senyawa organik terlarut yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme antara lain formaldehide, chloroform, ethyl benzene, eteylene, kerosene, detergen. Sedang senyawa anorganik antara lain Na, K, Ca, Mg, NH₃, S, Cu, Cr(VI), Cr (III), Ni, Zn dan lain-lain.

Degradasi senyawa organik secara anaerobik terlihat pada gambar 2. Pada proses anaerob, penguraian senyawa organik berlangsung secara bertahap ada aktivitas jenis bakteri tertentu yang dominan, dan setiap jenis bakteri mempunyai kondisi lingkungan optimum yang menjadi salah satu parameter penting (Benefield dan Randall, 1980 dalam Indriyati, 2007).



Gambar 2. Degradasi senyawa organik secara anaerob

Tahapan-tahapan yang terjadi dalam proses degradasi anaerobik seperti pada gambar 1 diatas adalah sebagai berikut:

1. Proses Hidrolisis

Proses hidrolisis adalah proses dimana aktivitas kelompok bakteri Saprofilik menguraikan bahan organik kompleks. Aktivitas terjadi karena bahan organik tidak larut seperti polisakarida, lemak, protein, dan karbohidrat akan dikonsumsi bakteri Saprofilik, dimana enzim ekstraselular akan mengubahnya menjadi bahan organik yang larut dalam air.

2. Proses Asidogenesis

Pada proses ini, bahan organik terlarut akan diubah menjadi asam organik rantai pendek seperti asam butirat, asam propionat, asam amino, asam asetat dan asam-asam lainnya oleh bakteri asidogenik. Salah satu bakteri yang hidup dalam kelompok Asidogenik adalah bakteri pembentukan asam asetat yaitu bakteri

Asetogenik, bakteri ini berperan dalam tahap perombakan asam propionat, asam amino, asam butirat, maupun asam rantai panjang lainnya menjadi asam organik yang mudah menguap/volatil seperti asam asetat.

3. Proses Metanogenesis

Proses metanogenesis adalah proses dimana bakteri metanogenik akan mengkonversi asam organik volatil menjadi gas metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2).

2.5. Metode Quinone Profile

Analisis quinon profil adalah salah satu metode yang paling menjanjikan untuk mengkarakterisasi dan identifikasi populasi bakteri pada sampel lingkungan. Metode ini merupakan metode kimia untuk mendeteksi bermacam-macam tipe struktur respirasi quinon pada sel mikroba, tidak hanya penggunaannya pada taksonomi mikroba tapi juga memiliki potensial untuk mengetahui struktur komunitas di suatu lingkungan (Hedrick and White 1986, Hiraishi et al., 1988, 1989, 2003). Quinon profile melibatkan penentuan kandungan quinon dan tipe struktur sebagai biomarker dari populasi bakteri di lingkungan. Dengan penggunaan metode ini, struktur komunitas pada komunitas bakteri dapat dikarakterisasi tanpa tergantung pada pertumbuhan mikroorganisme di laboratorium.

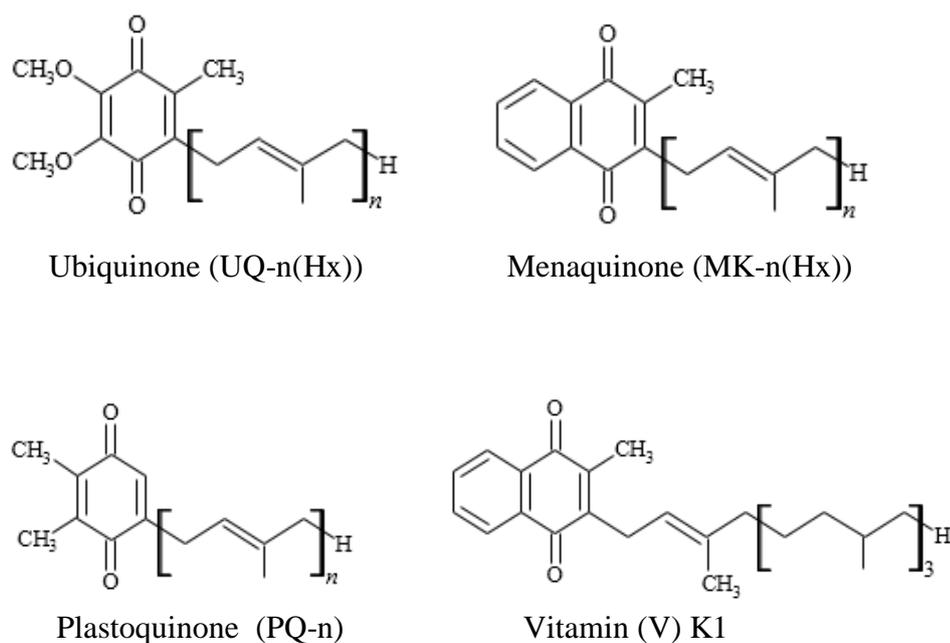
Kemajuan pada teknik analisis dan perangkat lunak komputer yang memungkinkan dalam mendeteksi quinon bakteri dari sampel lingkungan lebih mudah dan akurat (Iwasaki dan Hiraishi, 1998). Perangkat-perangkat tersebut

sudah banyak membantu para peneliti untuk mempelajari secara luas mengenai tipe struktur bakteri quinon melalui respirasi dan perpindahan elektron pada fotosintesis. *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) sudah secara luas digunakan untuk analisis quinon bakteri dari sampel lingkungan.

Pengembangan metode berdasarkan chemotaxonomi dan molekul biologi telah dilakukan tanpa membutuhkan proses isolasi dan kultivasi mikroorganisme (Hiraishi, 1999; Hu *et al.*, 1999; Kurisu *et al.*, 2002 dalam Hasanudin, 2005). Pada tahun-tahun terakhir ini, metode berdasarkan kuantifikasi dan karakterisasi biomarkers seperti 16S-rDNA, total DNA, asam lemak phospholipid, ergosterol, asam muramic dan quinon respirasi sudah dikaji (Hiraishi, 1988; Hu *et al.*, 1999 dalam Hasanudin 2005). Pada penelitian ini, analisis quinon profil dilakukan untuk mengevaluasi perubahan struktur komunitas mikroba pada air limbah industri gula.

Analisis quinon profile memiliki kelebihan dibandingkan metode lain karena dikenal dengan metode yang simpel dan tepat untuk analisis perubahan populasi mikroba pada kultur campuran. Komposisi quinon mengindikasikan struktur taksonomi dan keragaman komunitas mikroba karena kebanyakan mikroorganisme mengandung sebuah spesies quinon yang utama (Fujie *et al.*, 1995; Hiraishi, 1999; Katayam and Fujie, 2000 dalam Hasanudin 2005). Quinon respirasi mikroba adalah salah satu unsur pokok dari rantai respirasi bakteri, hampir semua organisme memiliki peranan yang penting sebagai pembawa elektron. Menurut Fujie *et al.*, (1998), mikroorganisme mengandung sebuah spesies quinon dimana satu spesies atau genus bakteri hanya memiliki satu tipe

dominan dari respiratory quinon. Terdapat dua jenis quinon yaitu quinon respirasi dan quinon fotosintesis. Jenis quinon respirasi ini terdapat pada bakteri yang energi utamanya berasal dari proses pernapasan. Tipe utama dari respirasi quinon yaitu ubiquinon (1-metil-2-isoprenil-3,4-dimetoksi-parabenzokuinon) dan menaquinone (1-isoprenil-2-metil-naphtho-quinone). Pada umumnya ubiquinone digunakan untuk respirasi aerobik dan menaquinone untuk respirasi anaerobik (Collins and Jones, 1981; Hiraishi, 1999; Hu et al., 1999) Sedangkan tipe utama dari quinon fotosintesis yaitu plastoquinon (derivatif 2,3-dimetil-1,4-benzokuinon) dan vitamin K1 (2-metil-3-phytyl-1,4-napthoquinone). Potosintesis quinon ini berada pada mikroorganisme yang melakukan potosintesis seperti mikro-alga dan cyanobakteria (Hutson dan Threlfall, 1980; Collins dan Jones, 1981; Hiraishi, 1999 dalam Hasanudin, 2005)



Gambar 3. Struktur quinone respirasi dan potosintesis