

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bioetanol

Bioetanol adalah etanol yang bahan utamanya dari tumbuhan dan umumnya menggunakan proses fermentasi. Etanol atau ethyl alkohol (C_2H_5OH) berupa cairan bening tak berwarna, terurai secara biologis (*biodegradable*), toksisitas rendah dan tidak menimbulkan polusi udara yang besar bila bocor. Etanol yang terbakar menghasilkan karbondioksida (CO_2) dan air (Rikana dan Adam, 2005). Keuntungan penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi yaitu penggunaan bahan bakar etanol dapat dikatakan tidak memberikan tambahan neto karbondioksida pada lingkungan. Hal ini karena CO_2 yang dihasilkan dari pembakaran etanol diserap kembali oleh tumbuhan dan dengan bantuan sinar matahari digunakan dalam proses fotosintesis.

Bahan bakar bioetanol memiliki nilai oktan tinggi sehingga dapat digunakan baik sebagai bahan peningkat oktan (*octane enhancer*) menggantikan penggunaan senyawa eter dan penggunaan logam berat seperti Pb sebagai *anti-knocking agent* yang memiliki dampak buruk terhadap lingkungan. Dengan nilai oktan yang tinggi, maka proses pembakaran menjadi lebih sempurna dan emisi gas buang hasil pembakaran dalam mesin kendaraan bermotor lebih baik (Wheals *et al.*, 1999 dalam Broto dan Richana, 2005). Bioetanol bisa digunakan dalam bentuk murni

ataupun sebagai campuran untuk bahan bakar gasolin (bensin). Kelebihan etanol dibanding bensin yaitu etanol memiliki angka *research octane* 108,6 dan *motor octane* 89,7 (Yuksel, 2004 dalam Broto dan Richana, 2005), angka tersebut melampaui nilai maksimal yang mungkin dicapai oleh gasoline yaitu *research octane* 88.

Bioetanol diproduksi dengan cara fermentasi menggunakan bahan baku hayati, sedangkan etanol dapat dibuat dengan cara sintesis melalui hidrasi katalitik dari etilen atau bisa juga dengan fermentasi gula menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae*. Beberapa bakteri seperti *Zymomonas mobilis* juga diketahui memiliki kemampuan untuk melakukan fermentasi untuk memproduksi etanol. Substrat yang umum digunakan untuk fermentasi adalah pati. Harga substrat yang cukup mahal menyebabkan harga etanol sebagai bahan bakar pengganti minyak masih cukup tinggi mengingat 60% dari biaya yang digunakan dalam sistem produksi etanol adalah biaya substrat (Ingram dan Doran, 1995 dalam Broto dan Richana, 2005). Hidrolisis glukosa secara enzimatis akan menghasilkan etanol dan karbondioksida.

B. Bahan Baku Pembuatan Bioetanol

Terdapat dua jenis etanol, yaitu etanol sintetis dan etanol rekayasa. Etanol sintetis merupakan hasil dari proses kimia yang disebut hidrasi dan terbuat dari etilen (salah satu derivat minyak bumi). Etanol sintetis lazim disebut metanol atau metil alkohol. Etanol rekayasa merupakan rekayasa biomassa (tanaman) melalui proses biologi (enzimatik dan fermentasi) dan hasilnya disebut sebagai bioetanol.

Menurut Prihandana (2007), bioetanol merupakan produk yang dapat dihasilkan oleh beberapa tanaman, yaitu:

1. Bahan berpati, antara lain ubikayu atau singkong, tepung sagu, biji jagung, biji shorgum, kentang, ganyong, garut, umbi dahlia.
2. Bahan bergula, antara lain *molasses* (tetes tebu), nira tebu, nira kelapa, nira batang sorghum manis, nira aren (enau), nira nipah, gewang, nira lontar.
3. Bahan berselulosa, antara lain limbah logging, limbah pertanian (jerami padi, ampas tebu, tongkol jagung, onggok), batang pisang, serbuk gergaji.

Produksi etanol/bioetanol (alkohol) dengan bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, dilakukan melalui proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air. Konversi bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat dan tetes menjadi bioetanol ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konversi bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat dan tetes menjadi bioetanol

Bahan baku		Kandungan gula dalam bahan baku	Jumlah Hasil Konversi	Perbandingan Bahan Baku dan Bioetanol
Jenis	Konsumsi (Kg)	(Kg)	Bio-etanol (Liter)	
Ubikayu	1000	250-300	166,6	6,5:1
Ubi jalar	1000	150-200	125	8:1
Jagung	1000	600-700	200	5:1
Sagu	1000	120-160	90	12:1
Tetes	1000	500	250	4:1

Sumber : Nurdyastuti (2005)

Tanaman yang berpotensi menghasilkan bioetanol adalah ubikayu. Menurut BPS (2009), produksi ubikayu tahun 2009 sebesar 7.569.178 ton dan tahun 2010

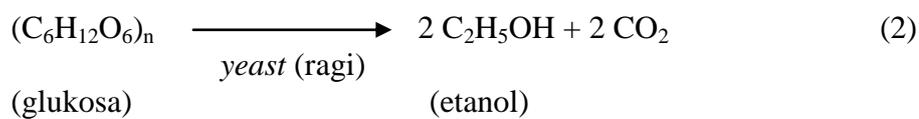
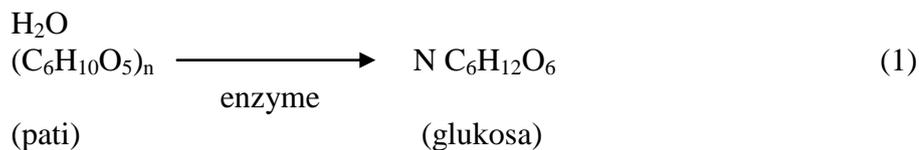
sebesar 8.637.594 ton. Penggunaan ubikayu sebagai bahan baku proses produksi bioetanol juga didasarkan pada pertimbangan ekonomi. Pertimbangan keekonomian pengadaan bahan baku tersebut bukan saja meliputi harga produksi tanaman sebagai bahan baku, tetapi juga meliputi biaya pengelolaan tanaman, biaya produksi pengadaan bahan baku, dan biaya bahan baku untuk memproduksi setiap liter etanol/bioetanol (Nurdyastuti, 2005).

Molasses adalah hasil sampingan yang berasal dari proses pembuatan gula tebu (*Saccharum officinarum*). *Molasses* berupa cairan kental dan diperoleh dari tahap pemisahan kristal gula yang tidak dapat dibentuk lagi menjadi sukrosa namun masih mengandung gula dengan kadar tinggi (50-60%), asam amino dan mineral. Tingginya kandungan gula dalam bentuk *molasses* sangat potensial dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol. Ketersediaan *molasses* sebagai bahan baku bioetanol di Indonesia cukup banyak. Ketersediaan *molasses* berkorelasi dengan luas perkebunan tebu yang semakin meningkat. Perkebunan tebu di Indonesia banyak ditemukan di Pulau Jawa baik Jawa Barat, Jawa Tengah, maupun Jawa Timur, Aceh, dan Sulawesi (Damayati, 2008).

C. Proses Produksi Bioetanol

Produksi etanol/bioetanol (alkohol) dengan bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, dilakukan melalui proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air. Glukosa dapat dibuat dari pati-patian, proses pembuatannya dapat dibedakan berdasarkan zat pembantu yang dipergunakan, yaitu hidrolisa asam dan hidrolisa enzyme. Hidolisa enzyme lebih banyak digunakan. Dalam proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air

dilakukan dengan penambahan air dan enzyme; kemudian dilakukan proses peragian atau fermentasi gula menjadi etanol dengan menambahkan *yeast* atau ragi. Reaksi yang terjadi pada proses produksi etanol/bioetanol secara sederhana ditunjukkan pada reaksi 1 dan 2.



Meskipun teknik produksi etanol/bioetanol merupakan teknik yang sudah lama diketahui, namun etanol/bioetanol untuk bahan bakar kendaraan memerlukan etanol dengan karakteristik tertentu yang memerlukan teknologi yang relatif baru di Indonesia antara lain mengenai neraca energi (*energy balance*) dan efisiensi produksi, sehingga penelitian lebih lanjut mengenai teknologi proses produksi etanol masih perlu dilakukan. Secara singkat teknologi proses produksi etanol/bioetanol tersebut dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu hidrolisis, fermentasi, dan destilasi (Nurdyastuti, 2005).

1. Proses Hidrolisis

Dalam proses hidrolisis, bahan baku ubikayu, ubi jalar, atau jagung dihancurkan dan dicampur air sehingga menjadi bubur, yang diperkirakan mengandung pati 27-30%. Proses hidrolisis dapat dilakukan dengan cara enzimatik, kimiawi ataupun kombinasi keduanya. Hidrolisis secara enzimatik memiliki perbedaan mendasar dibandingkan hidrolisis secara kimiawi dan fisik dalam hal spesifitas pemutusan rantai polimer pati. Hidrolisis secara kimiawi dan fisik akan memutus

rantai polimer secara acak, sedangkan hidrolisis enzimatis akan memutus rantai polimer secara spesifik pada percabangan tertentu. Enzim yang digunakan pada tahap likuifikasi adalah *alpha-amilase* dan tahap sakarifikasi digunakan enzim *gluko-amilase*. Proses liquifikasi adalah proses pemasakan bubur ubikayu menjadi dekstrin dengan bantuan enzim *alpha-amylase*. Proses sakarifikasi adalah proses untuk merubah dekstrin menjadi gula dengan bantuan enzim *gluko-amylase* (Supriyanto, 2007).

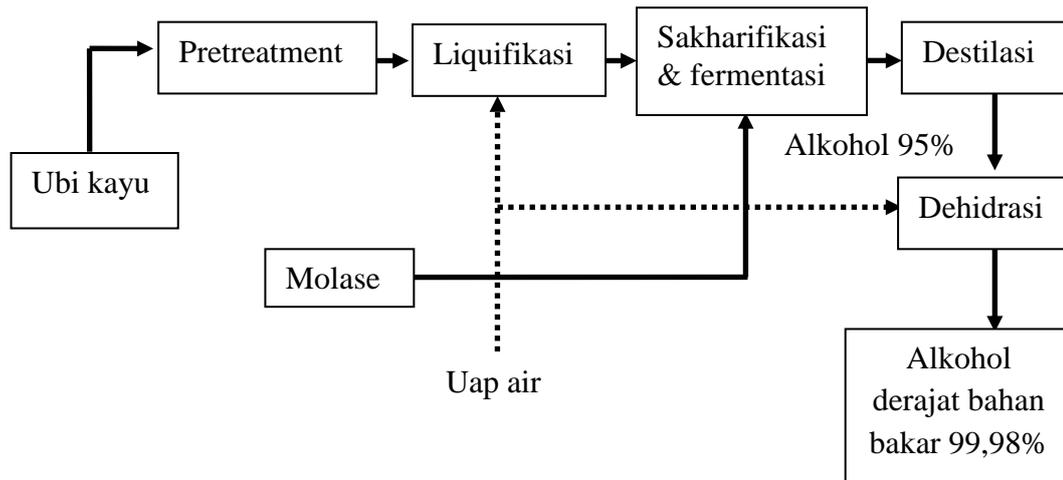
2. Fermentasi

Proses fermentasi dimaksudkan untuk mengubah glukosa menjadi etanol (alkohol) dengan menggunakan *yeast*. Alkohol yang diperoleh dari proses fermentasi ini, biasanya alkohol dengan kadar 8-10% volume. Pada proses fermentasi dengan bahan baku *molasses* fermentasi berlangsung secara spontan, karena *fermentable sugar* sudah tersedia dalam media. Pembuatan etanol dari *molasses* tersebut juga mempunyai keuntungan lain, yaitu memerlukan bak fermentasi yang lebih kecil. Etanol yang dihasilkan proses fermentasi tersebut perlu ditingkatkan kualitasnya dengan membersihkannya dari zat-zat yang tidak diperlukan. Alkohol yang dihasilkan dari proses fermentasi biasanya masih mengandung gas-gas yaitu CO₂ (yang ditimbulkan dari pengubahan *glucose* menjadi etanol/bioetanol) dan aldehid yang perlu dibersihkan. Gas CO₂ pada hasil fermentasi tersebut biasanya mencapai 35% volume, sehingga untuk memperoleh etanol/bioetanol yang berkualitas baik, etanol/bioetanol tersebut harus dibersihkan dari gas tersebut. Kadar etanol/bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi, biasanya hanya mencapai 8-10% saja, sehingga untuk memperoleh etanol yang berkadar alkohol 95% diperlukan proses lainnya, yaitu proses destilasi. (Nurdyastuti, 2005).

Pada umumnya hasil fermentasi adalah bioetanol atau alkohol yang mempunyai kemurnian sekitar 30-40% dan belum dapat dikategorikan sebagai *fuel based ethanol*. Alkohol hasil fermentasi harus melalui proses destilasi agar dapat mencapai kemurnian diatas 95%. Proses destilasi dilaksanakan melalui dua tingkat, yaitu tingkat pertama dengan *beer column* dan tingkat kedua dengan *rectifying column* (Nurdyastuti, 2005).

3. Destilasi

Proses destilasi adalah proses untuk menguapkan dan memisahkan komponen etanol dari cairan hasil fermentasi (umumnya mempunyai kadar alkohol 8-10% v/v) sehingga diperoleh produk etanol dengan konsentrasi 95-96% v/v. Proses destilasi yang banyak digunakan adalah *multi pressure distillation* yang lebih hemat energi dibandingkan proses destilasi dengan tekanan atmosphere (Supriyanto 2003). Proses dehidrasi adalah proses untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat pada produk hasil destilasi untuk mendapatkan produk etanol *anhydrous* 99,5% (v/v). Proses dehidrasi dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu destilasi azeotrop menggunakan *solvent*, *molecular sieve*, dan *membrane*. Namun saat ini proses dehidrasi yang banyak digunakan untuk membuat etanol *anhydrous* yaitu dengan *molecular sieve* (Supriyanto, 2005). Diagram alir proses pembuatan bioetanol ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir pembuatan bioetanol (Supriyanto, 2007).

Produksi bioetanol yang dikembangkan saat ini dapat dibuat dari bahan baku yang mengandung glukosa, pati, dan selulosa misalnya ubikayu. Glukosa dapat berasal dari kandungan *molasses* yang dikonversi secara langsung menjadi etanol. Penggunaan *molasses* lebih ekonomis ditinjau dari harga bahan baku yang relatif murah yang merupakan hasil samping dari pembuatan gula. Seperti diketahui bahwa *molasses* mengandung kadar gula (sekitar 50%-60%) dan sejumlah asam amino dan mineral dapat diolah menjadi beberapa produk termasuk sebagai produk utama adalah etanol (Paturau, 1982 dalam Mulyanto dkk., 2009). Produksi bioetanol berbahan baku *molasses* tidak perlu melalui proses *pretreatment* dan *liquifikasi*. Proses dimulai dari tahap fermentasi, destilasi, dan dekantasi. Secara garis besar, perbedaan proses produksi etanol menggunakan bahan baku ubikayu dibandingkan dengan menggunakan *molasses* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan proses produksi etanol menggunakan bahan baku ubikayu dibandingkan dengan menggunakan *molasses*

Proses	Etanol dari ubikayu	Etanol dari <i>molasses</i>
Pretreatment	Ubikayu menjadi bubur ubikayu dengan kadar TS 15%	-
Liquifikasi	Pemasakan bubur menjadi larutan dekstrin (butuh uap air)	-
Sakarifikasi	Perubahan dekstrin menjadi gula	-
Fermentasi	Proses fermentasi terjadi secara simultan dengan sakharifikasi membutuhkan waktu 60-70 jam	Proses fermentasi terjadi secara spontan, membutuhkan waktu 60-70 jam

Sumber: Supriyanto, 2007.

D. Air Limbah Industri Bioetanol

Industri etanol dengan bahan baku ubikayu akan menghasilkan limbah padat dan limbah cair, sedangkan industri etanol yang berbahan baku *molasses* hanya menghasilkan limbah cair saja. Limbah padat yang keluar dari proses antara lain kulit, tanah dari proses pretreatment ubikayu, dan ampas dari hasil proses dekantasi. Limbah cair industri etanol dari *molasses* mempunyai kandungan BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan dari ubikayu, sehingga limbah dari proses *molasses* (*vinasse*) mempunyai potensi menghasilkan biogas yang lebih besar pada pengolahan secara anaerob. Karakteristik limbah dari industri etanol dengan bahan baku *molasses* dan ubikayu disajikan pada Tabel 3.

Air limbah industri bioetanol berbahan baku ubikayu (*thinslop*). Air limbah secara umum mempunyai pH rendah, suhu tinggi, warna cokelat gelap, kandungan abu dan persentase bahan organik dan anorganik tak larut. *Vinasse* merupakan

salah satu bahan yang terdapat dalam air limbah dari industri etanol yang merupakan produk bawah (*bottom product*) pada proses distilasi etanol. Sifat fisik dan kimianya ditentukan oleh bahan baku awal produksi etanol. Untuk bahan baku dari sirup gula tebu (*sugar cane juice*), *vinasse* yang dihasilkan akan berwarna coklat muda dengan kandungan padatan 20.000- 40.000 mg/L. Apabila bahan baku alkohol berasal dari *molasses* maka *vinasse* akan berwarna hitam kemerahan dengan kandungan padatan 50.000-100.000 mg/L. Limbah *vinasse* rata-rata memiliki *specific gravity* antara 1,02-1,04 (Soeprijanto dkk., 2010).

Tabel 3. Karakteristik limbah industri etanol dari bahan baku ubikayu dan *molasses*

Jenis Limbah	Parameter	Jumlah kandungan
Limbah padat	Kulit, tanah	-
	Sludge	-
Air limbah <i>thinslop</i> *	BOD	25.000 - 35.000 ppm
	COD	35.000 - 50.000 ppm
	Padatan total	5 - 6 %
Air limbah <i>vinasse</i> **	BOD	40.000 - 60.000 ppm
	COD	80.000 - 100.000 ppm
	Padatan total	10-12 %

Sumber: Chaikut *et al.* (1991)* dan Shaukat Ali (2002)** dalam Supriyanto (2007).

Air limbah industri bioetanol memiliki nilai COD yang tinggi dan kisaran pH yang rendah ini, mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan bila air limbah bioetanol langsung dibuang ke lingkungan. Pembuangan limbah tanpa pengolahan dapat meningkatkan COD dan mengurangi jumlah oksigen yang ada di badan air penerima, selain itu derajat keasaman badan air akan semakin rendah, akibatnya ekosistem lingkungan menjadi rusak. Sistem pengolahan limbah cair *lagoon/pond*

anaerobik terbuka akan merombak kandungan polutan karbon dan nitrogen menjadi gas metan, karbon dioksida, amoniak, hidrogen sulfida, dan senyawa lainnya oleh mikroorganisme anaerobik (Kiely, 1997 dalam Widyantoro dan Nugrahini, 2008). Gas-gas tersebut kemudian terdispersi ke atmosfer/udara terbuka secara alami. Selain gas metan, dispersi produk gas lain seperti CO₂ ke lingkungan terbuka berpotensi menimbulkan pemanasan global dan meningkatkan polusi. Gas metan yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah cair pabrik-pabrik tersebut dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar alternatif. Karena dapat menghasilkan biogas yang dapat diperbaharui dari sistem pengolahan anaerobik, limbah cair dipandang sebagai salah satu bahan yang dapat menyediakan sumber energi terbarukan (Chaiprasert dkk, 2003 dalam Widyantoro dan Nugrahini, 2008).

E. 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. Penguraian dengan proses anaerobik secara umum dapat disederhanakan menjadi dua tahap yaitu tahap pembentukan asam dan tahap pembentukan metana.

Langkah pertama dari tahap pembentukan asam adalah hidrolisa senyawa organik baik yang terlarut maupun yang tersuspensi dari berat molekul besar (polimer)

menjadi senyawa organik sederhana (monomer) yang dilakukan oleh enzim-enzim ekstraseluler. Pembentukan asam dari senyawa-senyawa organik sederhana (monomer) dilakukan oleh bakteri-bakteri penghasil asam yang terdiri dari sub divisi asid/farming bacteria dan asetogenik bacteria. Asam propionat dan butirat diuraikan oleh acetogenic bacteria menjadi asam asetat.

Pembentukan metana dilakukan oleh bakteri penghasil metana yang terdiri dari sub divisi acetoclastic methane bacteria yang menguraikan asam asetat menjadi metana dan karbon dioksida. Karbon dioksida dan hidrogen yang terbentuk dari reaksi penguraian tersebut disintesa oleh bakteri pembentuk metana menjadi metana dan air.

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.

1. 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.

2. pH (keasaman)

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.

3. 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.

4. 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 (Manurung, 2004).

F. Gas Rumah Kaca

Perubahan iklim merupakan tantangan paling serius yang dihadapi dunia pada saat ini. Sejumlah bukti baru dan kuat yang muncul dalam studi mutakhir memperlihatkan bahwa masalah pemanasan yang terjadi 50 tahun terakhir disebabkan oleh tindakan manusia yang mana temperatur di bumi telah naik secara cepat, perubahan iklim juga dipengaruhi oleh aktivitas matahari dan ozon serta kegiatan vulkanik dan sulfat. Namun sejak tahun 1960-an, penyebab utama naiknya temperatur bumi adalah akibat efek rumah kaca yang menurut sebagian ahli disebabkan oleh meningkatnya kandungan gas karbon dioksida dan partikel polutan lainnya di atmosfer bumi. Efek rumah kaca disebabkan karena naiknya konsentrasi gas-gas rumah kaca. Gas rumah kaca adalah gas-gas di atmosfer yang memiliki kemampuan untuk dapat menyerap radiasi matahari yang dipantulkan oleh bumi, sehingga menyebabkan suhu dipermukaan bumi menjadi hangat. Menurut konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change*–UNFCCC), ada enam jenis gas yang digolongkan sebagai GRK, yaitu karbondioksida (CO_2), dinitro oksida (N_2O), metana (CH_4), sulfurheksaflorida (SF_6), perflorokarbon (PFCs), dan hidroflorokarbon (HFCs). Gas rumah kaca berbeda dengan polutan dari segi jangka waktu dampak. Polutan

secara langsung berdampak pada makhluk hidup, sedangkan gas rumah kaca berdampak tidak langsung (Trismidianto dkk., 2009).

Melalui perantara proses di dalam lingkungan biogeokimia, gas-gas rumah kaca baru berdampak pada makhluk hidup. Sifat gas rumah kaca adalah menaikkan suhu bumi dengan cara menangkap radiasi gelombang pendek dari matahari dan memantulkannya ke bumi. Gas rumah kaca juga memantulkan radiasi gelombang panjang ke bumi, sehingga bumi seakan-akan mendapatkan pemanasan dua kali. Dampak dari gas rumah kaca adalah pemanasan global dan efek rumah kaca. Sedangkan dampak turunan dari pemanasan global salah satunya adalah perubahan iklim. Naiknya suhu rata-rata bumi adalah salah satu bukti telah terjadi perubahan iklim. Pemanasan global ini pun mendapatkan radiasi matahari tambahan lagi karena terdapatnya lubang ozon. Penipisan ozon mengakibatkan radiasi sinar ultraviolet dari matahari yang masuk ke bumi semakin besar intensitasnya (Trismidianto dkk., 2009).

Gas rumah kaca dari emisi antropogenik berasal dari beberapa sumber dilihat dari beberapa sektor, yaitu sektor energi : pemanfaatan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas secara berlebihan dalam berbagai kegiatan merupakan penyebab utama dilepaskannya emisi gas rumah kaca ke atmosfer. Sektor kehutanan : kegiatan pengrusakan hutan, penebangan hutan, perubahan kawasan hutan menjadi bukan hutan, menyebabkan lepasnya sejumlah emisi GRK yang sebelumnya disimpan di dalam pohon. Sektor pertanian dan peternakan : dari sektor pertanian, emisi GRK terutama metana dihasilkan dari sawah yang tergenang, pemanfaatan pupuk, pembakaran padang sabana, dan pembusukan

sisa-sisa pertanian. Dan dari sektor peternakan, emisi GRK berupa gas metana (CH_4) dilepaskan dari kotoran ternak yang membusuk. GRK berupa metana juga dihasilkan dari sampah. Menurut IPCC (*Intergovernmental On Panel Climate Change*) menyatakan jika laju emisi gas rumah kaca ini dibiarkan terus tanpa terdapat tindakan untuk menguranginya, maka suhu global rata-rata akan meningkat dengan laju $0,3\text{ }^\circ\text{C}$ setiap 10 tahun (Trismidianto dkk., 2009).