

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Biomassa**

Energi biomassa dapat kita artikan sebagai energi yang berasal dari aktifitas makhluk hidup seperti tumbuhan maupun hewan, lebih ditekankan di sini bahwa energi biomassa adalah energi yang dihasilkan dari limbah sisa atau hasil samping yang selama ini kurang digunakan seperti jerami padi, ampas tebu, kayu/ serbuk sisa penggergajian ataupun peternakan seperti kotoran sapi maupun kerbau. Sebagai negara agraris yang besar Indonesia menyimpan potensi luar biasa dari sektor energi biomassa (Himawanto, 2003).

Keuntungan menggunakan biomassa untuk sumber energi alternatif, sebagai berikut:

1. **Meminimalisir limbah organik**

Keberadaan limbah organik semakin hari semakin menumpuk. Adapun limbah organik yang biasa dijumpai adalah tongkol jagung, jerami padi, ampas tebu dan lain sebagainya. Jika limbah tersebut tidak diolah atau langsung dibuang justru bisa menghasilkan gas berbahaya seperti gas metana.

Salah satu cara untuk pemanfaatan biomassa ini, yaitu dengan pembuatan biobriket untuk bahan bakar yang bersifat padat.

2. **Mengurangi efek gas rumah kaca**

Salah satu manfaat sumber dari energi biomassa adalah untuk meminimalisir efek gas rumah kaca. Gas rumah kaca meliputi kandungan nitrogen oksida, metana, karbon dioksida dan gas-gas lainnya berada di dalam atmosfer. Sehingga semakin meningkatnya konsentrasi gas-gas tersebut maka bisa memicu peningkatan temperatur atau suhu udara di atmosfer lebih panas. Sementara itu, ketersediaan dari biomassa atau tanaman sendiri memicu pengurangan konsentrasi karbon dioksida. Hal inilah yang membuat biomassa sendiri bisa mengurangi efek gas rumah kaca.

### 3. Meminimalisir polusi udara

Peningkatan kapasitas kendaraan, khususnya di Indonesia selain memicu kepadatan lalu lintas di jalan raya juga bisa mengakibatkan peningkatan polusi udara yang bisa memicu penyakit paru-paru apabila terhirup oleh masyarakat jika tidak dikendalikan dengan tepat. Namun dengan pemanfaatan biomassa justru bisa meminimalisir terjadinya polusi udara. Sementara pembakaran dari biomassa sendiri, bisa meminimalisir efek dari polusi asap sehingga penggunaannya lebih bersih dan efisien.

#### 2.1.1 Ampas Tebu

Tebu (*Saccharum officinarum*) adalah tanaman yang ditanam untuk bahan baku gula. Tanaman ini hanya dapat tumbuh di daerah beriklim tropis. Tanaman ini termasuk jenis rumput-rumputan. Umur tanaman sejak ditanam sampai bisa dipanen mencapai kurang lebih 1 tahun. Di Indonesia tebu banyak dibudidayakan di pulau Jawa dan Sumatera (Anonim, 2007). Ampas tebu adalah hasil samping dari proses ekstraksi (pemerahan) cairan tebu. Ampas tebu banyak dihasilkan pabrik gula dan pedagang es tebu. Husin (2007) menambahkan, berdasarkan data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) ampas tebu yang dihasilkan sebanyak 32% dari berat tebu giling. Pembuangan ampas tebu tanpa pengolahan secara tepat akan mengakibatkan pencemaran yang berkepanjangan. Ampas tebu sebagian besar mengandung *ligno-cellulose*. Berikut adalah komposisi kimia ampas tebu.

Tabel 1. Komposisi Kimia Ampas Tebu

<b>Kandungan</b>	<b>Kadar (%)</b>
Abu	3,82
Lignin	22,09
Selulosa	37,65
Sari	1,81
Pentosan	27,97
SiO <sub>2</sub>	3,01

(Sumber : Husin, 2007)



Gambar 1. Potongan Tebu dan Ampas Tebu

Dalam kondisi kering, ampas tebu terdiri dari unsur C (karbon) 47 %, H (Hidrogen) 6,5 %, O (Oksigen) 44 % dan *Ash* (abu) 2,5 %. Menurut rumus Pritzelwitz (Hugot, 1986) tiap kilogram ampas dengan kandungan gula sekitar 2,5 % akan memiliki kalor sebesar 1825 kkal. Nilai bakar tersebut akan meningkat dengan menurunnya kadar air dan gula dalam ampas.

Tabel 2. Hasil Analisa Proksimat Kandungan Ampas Tebu

<b>Kadar</b>	<b>Persentase</b>
Moisture	21.8
Ash	2.5
Volatile	72.7
Fixed Carbon	3.5
Carbon	47.0
Hidrogen	6.5
Sulfur	0.1
Nitrogen	0.9
Oksigen	44.0
Gross calorific value	0.86 kcal/kg

(Sumber : Winaya, 2010)

Pada umumnya, pabrik gula di Indonesia memanfaatkan ampas tebu sebagai bahan bakar bagi pabrik yang bersangkutan, setelah ampas tebu tersebut mengalami pengeringan. Disamping untuk bahan bakar, ampas tebu juga banyak digunakan sebagai bahan baku pada industri kertas, *particleboard*, *fibreboard*, dan lain-lain (Indriani dan Sumiarsih, 1992). Kelebihan ampas tebu mudah terbakar

karena didalamnya terkandung air, gula, serat dan mikroba, sehingga bila tertumpuk akan terfermentasi dan melepaskan panas. Biobriket dari ampas tebu akan lebih terjamin sebab bersifat *renewable* (mudah diperbaharui).

### 2.1.2 Tempurung Kelapa

Kelapa (*Cocos nucifera*) adalah anggota tunggal dalam marga *Cocos* dari suku aren-arenan atau Arecaceae. Tumbuhan ini dimanfaatkan hampir semua bagiannya sehingga dianggap sebagai tumbuhan serbaguna. Pohon kelapa atau sering disebut pohon nyiur biasanya tumbuh pada daerah atau kawasan tepi pantai. Buah kelapa terdiri dari kulit luar, sabut, tempurung, kulit daging (testa), daging buah dan air kelapa. Buah kelapa yang sudah tua memiliki bobot sabut (35%), tempurung (12%), *endosperm* (28%) dan air (25%) (Setyamidjaja D, 1995). Tempurung kelapa adalah salah satu bahan karbon aktif yang kualitasnya cukup baik dijadikan arang aktif.



Gambar 2. Tempurung Kelapa

Secara fisiologis, bagian tempurung merupakan bagian yang paling keras dibandingkan dengan bagian kelapa lainnya. Struktur yang keras disebabkan oleh silikat ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup tinggi kadarnya pada tempurung kelapa tersebut. Berat dan tebal tempurung kelapa sangat ditentukan oleh jenis tanaman kelapa. Berat tempurung kelapa ini sekitar (15–19) % dari berat keseluruhan buah kelapa, sedangkan tebalnya sekitar (3–5) mm. Pada umumnya nilai kalor yang terkandung

dalam tempurung kelapa adalah berkisar antara 18200 kJ/kg hingga 19338.05 kJ/kg (Palungkun, 1999 dalam Devi Septiani, 2012). Berikut adalah komposisi kimia tempurung kelapa.

Tabel 3. Komposisi Kimia Tempurung Kelapa

<b>Komposisi</b>	<b>Persentase (%)</b>
<i>Lignin</i>	29,40
<i>Pentosan</i>	27,70
<i>Selulosa</i>	26,60
Air	8,00
<i>Solvent Ekstraktif</i>	4,20
Abu	0,60
Nitrogen	0,10

(Sumber : Suhardiyono, 1995)

Selain dibuat arang, tempurung kering bisa digunakan sebagai bahan bakar. Arang tempurung dihasilkan dari pembakaran tempurung dengan cara tertentu. Adapun pembuatan arang tempurung kelapa ini bisa dilakukan dengan cara yaitu metode drum dan metode tungku. Metode tungku digunakan untuk pembuatan secara besar-besaran dan komersial, sedangkan dalam skala kecil menggunakan metode drum (Andry, 2000).

## 2.2 Briket

Briket adalah padatan yang umumnya berasal dari limbah pertanian. Sifat fisik briket yaitu kompak, keras dan padat. Dalam aplikasi produk, ada beragam jenis briket, yaitu briket arang selasah, briket serbuk gergaji dan sekam, briket kotoran sapi, briket cangkang kopi maupun cangkang jarak pagar dan lain-lain (Fuad, 2008). Briket mempunyai dua tipe, yaitu :

### 1. Briket Batubara

adalah bahan bakar padat dengan bentuk dan ukuran tertentu, yang tersusun dari butiran batubara halus yang telah mengalami proses pemampatan dengan daya tekan tertentu, agar bahan bakar tersebut lebih mudah ditangani dan menghasilkan nilai tambah dalam pemanfaatannya.

## 2. Biobriket atau Briket Biorang

Biobriket merupakan bahan bakar alternatif yang cukup berkualitas. Biobriket umumnya berbentuk gumpalan-gumpalan atau batangan-batangan arang yang terbuat dari bioarang (bahan lunak). Bioarang sebenarnya termasuk bahan lunak yang dengan proses tertentu diolah menjadi bahan arang keras dengan bentuk tertentu.

Keuntungan yang diperoleh dari penggunaan biobriket antara lain adalah biayanya yang murah. Alat yang digunakan untuk pembuatan biobriket cukup sederhana dan bahan bakunya pun mudah untuk didapat karena berasal dari sampah, daun-daun kering, limbah pertanian yang sudah tidak berguna lagi. Bahan baku untuk pembuatan biobriket umumnya telah tersedia disekitar kita.

### 2.3 Biobriket

Biobriket merupakan bahan bakar alternatif yang cukup berkualitas. Biobriket adalah bahan bakar padat yang berasal dari campuran batubara dengan biomassa atau 100% menggunakan biomassa. Macam-macam bentuk biobriket dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Tipe Yontan (Silinder)



Tipe Telur/ Bantal



Tipe Heksagonal



Tipe Sarang Tawon (Kubus dan Silinder)

(Sumber : Wikipedia, 2016)

Gambar 3. Bentuk-bentuk Biobriket

Kualitas briket bioarang juga ditentukan oleh bahan pembuat/ penyusunannya, sehingga mempengaruhi kualitas nilai kalor, kadar air, kadar abu, kadar bahan menguap dan kadar karbon terikat pada briket tersebut (Hartoyo, 1983). Pembuatan biobriket dengan penggunaan bahan perekat akan lebih baik hasilnya jika dibandingkan tanpa menggunakan bahan perekat. Disamping meningkatkan nilai bakar dari bioarang dan kekuatan briket bioarang dari tekanan luar juga lebih baik (tidak mudah pecah).

Tabel 4. Mutu Biobriket Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI)

<b>Parameter</b>	<b>Standar Mutu Briket Arang (SNI No. 01/6235/2000)</b>
Kadar Air (%)	$\leq 8$
Kadar Abu (%)	$\leq 8$
Kadar Zat Menguap (%)	$\leq 15$
Nilai Kalor (kal/g)	$\geq 5000$

(Sumber : Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, 2000)

Syarat biobriket yang baik (Mahajoeno, 2005) adalah :

- a. Permukaannya halus dan rata
- b. Tidak meninggalkan bekas hitam di tangan
- c. Mudah dinyalakan
- d. Tidak mengeluarkan asap
- e. Emisi gas hasil pembakaran tidak mengandung racun
- f. Kedap air dan hasil pembakaran tidak berjamur bila disimpan pada waktu lama
- g. Menunjukkan upaya laju pembakaran (waktu, laju pembakaran, dan suhu pembakaran) yang baik.
- h. Tidak mengeluarkan bau, tidak beracun dan tidak berbahaya.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan didalam pembuatan biobriket antara lain :

1. Bahan Baku

Biobriket dapat dibuat dari bermacam-macam bahan baku, seperti ampas tebu, sekam padi, serbuk gergaji, dan lain-lain. Bahan utama yang harus terdapat didalam bahan baku adalah selulosa, karena semakin tinggi kandungan selulosa semakin baik kualitas biobriket. Ampas tebu memiliki kandungan selulosa 52,7% (Samsuri *et al.*, 2007). Terdapat beberapa alasan mengapa selulosa baik sebagai serat bahan baku, yaitu tingkat ketahanan serat sangat tinggi, memiliki daya ikat air yang tinggi yang memfasilitasi persiapan mekanis dari serat dan pengikatan serat antar serat saat campuran dikeringkan.

2. Bahan Perekat

Untuk merekatkan partikel-partikel zat dalam bahan baku pada proses pembuatan biobriket maka diperlukan zat perekat sehingga dihasilkan biobriket yang kompak.

Beberapa parameter kualitas biobriket yang akan mempengaruhi pemanfaatannya antara lain :

1. Kandungan Air (*Moisture*)

Kandungan air (*moisture*) didalam biobriket dapat dinyatakan dalam dua macam :

a. *Free Moisture* (uap air bebas)

*Free Moisture* dapat hilang dengan penguapan, misalnya dengan *air drying*. Kandungan *free moisture* sangat penting dalam perencanaan *coal handling* dan *preperation equipment*.

b. *Inherent Moisture* (uap air terikat)

Kandungan *inherent moisture* dapat ditentukan dengan memanaskan briket antara temperatur 104 – 110 °C selama satu jam.

Kurniawan Ade (2013) menyatakan dalam hasil penelitiannya yang membuat biobriket dari buah bintaro dan bambu betung dengan variasi komposisi 30:70, 40:60, 50:50 dan variasi suhu 350°C, 400°C dan 450°C,

diketahui bahwa nilai kadar air lembab (*Inherent Moisture*) briket bioarang buah bintari dan bambu betung dengan perekat tapioka berkisar 2 – 3%. Hubungan antara suhu karbonisasi dengan kadar air lembab adalah semakin tinggi suhu karbonisasi maka kadar air lembabnya semakin rendah. Hal ini disebabkan karena dengan semakin tingginya suhu karbonisasi maka kadar air dari buah bintaro dan tempurung kelapa yang dijadikan arang akan semakin sedikit dan banyak menguap. Hal itu akan membuat arang dengan suhu karbonisasi yang lebih tinggi akan lebih kering, sehingga kemampuannya dalam menyerap air akan semakin rendah, sehingga ketika arang dengan suhu karbonisasi yang tinggi dicampur dengan perekat maka arang tersebut akan menyerap air dari perekat dengan kemampuan yang lebih rendah dibandingkan dengan arang dengan suhu karbonisasi yang lebih rendah.

## 2. Kandungan Abu (*Ash*)

Semua jenis briket pada umumnya mempunyai kandungan zat anorganik yang dapat ditentukan jumlahnya sebagai berat yang tinggal apabila briket dibakar secara sempurna. Zat yang tinggal ini disebut abu. Abu briket berasal dari *clay*, pasir dan bermacam-macam zat mineral lainnya. Briket dengan kandungan abu yang tinggi sangat tidak menguntungkan karena akan membentuk kerak.

Hubungan antar suhu karbonisasi dengan kadar abu adalah semakin tinggi suhu karbonisasi maka kadar abu semakin meningkat. Hal ini terjadi karena semakin tinggi suhu karbonisasi maka akan mengakibatkan banyaknya bahan yang terbakar menjadi abu, sehingga hubungan antara kenaikan suhu terhadap kadar abu sebanding (Kurniawan Ade, 2013)

## 3. Kandungan Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Zat terbang terdiri dari gas-gas yang mudah terbakar seperti Hidrogen, Karbon Monoksida (CO), dan Metana (CH<sub>4</sub>), tetapi kadang-kadang terdapat juga gas-gas yang tidak terbakar seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Volatile matter adalah bagian dari briket dimana akan berubah menjadi volatile matter (produk) bila briket tersebut dipanaskan tanpa udara pada suhu lebing kurang 950°C. Untuk kadar volatile matter ± 40% pada pembakaran akan memperoleh nyala yang

panjang dan akan memberikan asap yang banyak. Sedangkan untuk kadar volatile matter rendah antara (15 – 25 %) lebih disenangi dalam pemakaian karena asap yang dihasilkan sedikit.

Almusyaddah Qurnia (2013) menyatakan dalam hasil penelitiannya yang membuat biobriket dari campuran kulit ubi kayu dan tongkol jagung dengan variasi waktu karbonisasi 1,5 jam; 2 jam; 2,5 jam; 3 jam dan 3,5 jam didapatkan kadar zat terbang optimum yaitu 16,95 % pada waktu karbonisasi selama 3,5 jam. Dapat disimpulkan bahwa pengaruh waktu karbonisasi terhadap zat terbang (*Volatile Matter*) yaitu semakin lama waktu karbonisasi maka kandungan zat terbangnya akan semakin rendah, hal ini disebabkan karena pada saat proses karbonisasi suhu tinggi berlangsung maka gas-gas atau zat terbang yang ada pada bahan tersebut akan menghilang.

#### 4. Kerapatan ( $\rho$ )

Dilakukan dengan mendeterminasi berapa rapat massa briket melalui perbandingan antara massa briket dengan besarnya dimensi volumetrik briket. Besarnya kerapatan ( $\rho$ ) pada suatu bahan dipengaruhi oleh kepadatan bahan tersebut.

#### 5. Kekuatan *Impact* (Kuat Tekan)

Bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap suatu material sampai material itu patah. Ukuran partikel mempengaruhi kekuatan briket yang dihasilkan karena ukuran yang lebih kecil akan menghasilkan rongga yang lebih kecil pula sehingga kuat tekan briket akan semakin besar. Sedangkan distribusi ukuran akan menentukan kemungkinan penyusunan (*packing*) yang lebih baik.

Kepadatan dari suatu biobriket berpengaruh terhadap lama penyalaan dan asap yang dihasilkan oleh biobriket yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Dari kepadatan ini juga dapat berpengaruh terhadap kerapatan (berat Jenis) dari biobriket.

Siti Mushlihah *et al.* (2011) menyatakan dalam penelitiannya yang membahas pengaruh bahan perekat dan metode pengeringan terhadap kualitas briket limbah baglog jamur tiram putih, dengan menggunakan variasi perekat

tepung kanji dan lem kayu, didapatkan bahwa briket yang memiliki kuat tekan paling tinggi adalah briket dengan menggunakan lem kayu sebagai perekat. Namun, bila dibandingkan dengan kuat tekan briket yang menggunakan lem kanji maka dapat diketahui bahwa kuat tekannya tidak berbeda nyata. Bila kuat tekan briket rendah maka kualitas dari briket tersebut kurang baik karena akan mudah pecah terkena beban berat ataupun dalam pengangkutannya.

#### 6. Nilai Kalor

Nilai kalor dinyatakan sebagai *heating value*, merupakan suatu parameter yang penting dari suatu *thermal coal*. *Gross calorific value* diperoleh dengan membakar suatu sampel briket didalam *bomb calorimeter* dengan mengembalikan sistem ke ambient temperatur. *Net calorific value* biasanya antara (93 – 97) % dari *gross value* dan tergantung dari kandungan *inherent moisture* serta kandungan hidrogen dalam briket.

Almusyaddah Qurnia (2013) dalam hasil penelitiannya yang membuat biobriket dari campuran kulit ubi kayu dan tongkol jagung dengan variasi waktu karbonisasi 1,5 jam; 2 jam; 2,5 jam; 3 jam dan 3,5 jam, mendapatkan nilai kalor tertinggi pada waktu karbonisasi 3,5 jam, yaitu 5972 kal/gr dan pada waktu karbonisasi 1,5 jam didapatkan nilai kalor 3484 kal/gr. Hal ini disebabkan karena pada saat karbonisasi dengan waktu yang lama akan menyebabkan berkurangnya kadar air maupun kadar abu sehingga akan menyebabkan nilai kalor yang tinggi.

Berikut ini adalah standar nilai biobriket arang menurut beberapa standarisasi di dunia :

Tabel 5. Standar Nilai Biobriket Arang

Sifat Briket Arang	Jepang	Inggris	Amerika	Indonesia
Kandungan air total %	6 – 8	3.6	6.2	8
Kadar zat menguap %	15 – 30	16.4	19 – 24	15
Kadar abu %	3 – 6	5.9	8.3	8
Kadar karbon terikat %	60 – 80	75.3	60	77
Kerapatan g/cm <sup>3</sup>	1 – 1.2	0.46	1	-
Keteguhan tekan g/cm <sup>2</sup>	60 – 65	12.7	62	-
Nilai kalor cal/g	6000 – 7000	7289	6230	5000

(Sumber : Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, 1994)

### 2.3.1 Teknologi Pembriketan

Teknologi pembriketan merupakan pengembangan dari proses pembakaran batubara dengan membuatnya menjadi berbagai bentuk melalui penekanan dan pencampuran dengan bahan pengikat. Pembriketan bertujuan untuk memperoleh suatu bahan bakar yang berkualitas yang dapat digunakan untuk semua sektor sebagai sumber energi pengganti.

Proses pembriketan adalah proses pengolahan karbon hasil karbonisasi yang mengalami perlakuan penggerusan, pencampuran bahan baku, pencetakan dan pengeringan pada kondisi tertentu, sehingga diperoleh briket yang mempunyai bentuk, ukuran fisik, dan sifat kimia tertentu. Proses pembuatan biobriket secara umum adalah sebagai berikut :

#### 1. Pengurangan Kadar Air

Bahan baku yang akan digunakan untuk membuat biobriket pertama harus dikurangi kadar airnya, sehingga proses pemanasan pada ruang vakum akan sempurna. Apabila terdapat air dalam bahan baku tersebut akan merusak hasil pembakaran bahan baku. Proses pengurangan kadar air ini bisa dilakukan dengan penjemuran. Apabila bahan baku pembuatan briket sudah memiliki kadar air yang sangat sedikit maka bisa langsung melakukan tahapan proses berikutnya.

## **2. Proses Karbonisasi**

### **a. Prinsip Karbonisasi**

Proses pembakaran dikatakan sempurna jika hasil akhir pembakaran berupa abu berwarna keputihan dan seluruh energi di dalam bahan organik dibebaskan ke lingkungan. Namun dalam pengarangan, energi pada bahan akan dibebaskan secara perlahan. Apabila proses pembakaran dihentikan secara tiba-tiba ketika bahan masih membara, bahan tersebut akan menjadi arang yang berwarna kehitaman. Bahan tersebut masih terdapat sisa energi yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti memasak, memanggang, dan mengeringkan.

Bahan organik yang sudah menjadi arang tersebut akan mengeluarkan sedikit asap dibandingkan dibakar langsung menjadi abu. Lamanya pengarangan ditentukan oleh jumlah atau volume bahan organik, ukuran parsial bahan, kerapatan bahan, tingkat kekeringan bahan, jumlah oksigen yang masuk, dan asap yang keluar dari ruang pembakaran.

### **b. Metode Karbonisasi**

Pelaksanaan karbonisasi meliputi teknik yang paling sederhana hingga yang paling canggih. Tentu saja metode pengarangan yang dipilih disesuaikan dengan kemampuan dan kondisi keuangan. Berikut dijelaskan beberapa metode karbonisasi (pengarangan) :

#### **1. Pengarangan terbuka**

Metode pengarangan terbuka artinya pengarangan tidak dilakukan dalam ruangan sebagaimana mestinya. Risiko kegagalannya lebih besar karena udara langsung kontak dengan bahan baku. Metode pengarangan ini paling murah dan paling cepat, tetapi bagian yang menjadi abu juga paling banyak, terutama jika selama proses pengarangan tidak ditunggu dan dijaga. Selain itu bahan baku harus selalu dibolak-balik agar arang yang diperoleh seragam dan merata warnanya.

#### **2. Pengarangan didalam drum**

Drum bekas aspal atau oli yang masih baik bisa digunakan sebagai tempat proses pengarangan. Metode pengarangan di dalam drum cukup praktis karena bahan baku tidak perlu ditunggu terus-menerus sampai menjadi arang.

### 3. Pengarangan didalam silo

Sistem pengarangan didalam silo dapat diterapkan untuk produksi arang dalam jumlah banyak. Dinding dalam silo terbuat dari batu bata tahan api. Sementara itu, dinding luarnya disemen dan dipasang besi beton sedikitnya 4 buah tiang yang jaraknya disesuaikan dengan keliling silo. Sebaiknya sisi bawah silo diberi pintu yang berfungsi untuk mempermudah pengeluaran arang yang sudah jadi. Hal yang penting dalam metode ini adalah menyediakan air yang banyak untuk memadamkan bara.

### 4. Pengarangan semimodern

Metode pengarangan semimodern sumber apinya berasal dari plat yang dipanasi atau batu bara yang dibakar. Akibatnya udara disekeliling bara ikut menjadi panas dan memuai ke seluruh ruangan pembakaran. Panas yang timbul dihembuskan oleh blower atau kipas angin bertenaga listrik.

### 5. Pengarangan supercepat

Pengarangan supercepat hanya membutuhkan waktu pengarangan hanya dalam hitungan menit. Metode ini menggunakan penerapan roda berjalan. Bahan baku dalam metode ini bergerak melewati lorong besi yang sangat panas dengan suhu mendekati 70°C.

## 3. Mencampur Bahan Perekat

Sifat ilmiah bubuk arang cenderung saling memisah. Dengan bantuan bahan perekat atau lem, butir-butiran arang dapat disatukan dan dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Namun permasalahannya terletak pada jenis bahan perekat yang akan dipilih. Penentuan bahan perekat yang digunakan sangat berpengaruh terhadap kualitas briket ketika dibakar dan dinyalakan. Faktor harga dan ketersediaannya di pasaran harus dipertimbangkan secara seksama karena setiap bahan perekat memiliki daya lekat yang berbeda-beda karakteristiknya.

### a. Jenis Bahan Perekat

Untuk merekatkan partikel-partikel zat dalam bahan baku pada proses pembuatan biobriket maka diperlukan zat pengikat sehingga dihasilkan biobriket

yang kompak. Berdasarkan sifat dan jenisnya bahan perekat dapat dibedakan menjadi :

1). Berdasarkan sifat bahan baku perekat biobriket

Karakteristik bahan baku perekat untuk pembuatan biobriket adalah :

- a. Memiliki gaya kohesi yang baik bila dicampur dengan semikokas atau batubara
- b. Mudah terbakar dan tidak berasap
- c. Mudah didapat dalam jumlah banyak dan murah harganya
- d. Tidak mengeluarkan bau, tidak beracun dan tidak berbahaya.

2). Berdasarkan jenis bahan baku yang umum dipakai sebagai perekat untuk pembuatan biobriket yaitu :

a. Perekat anorganik

Pengikat anorganik dapat menjaga ketahanan biobriket selama proses pembakaran sehingga dasar permeabilitas bahan bakar tidak terganggu. Pengikat anorganik ini mempunyai kelemahan yaitu adanya tambahan abu yang berasal dari bahan pengikat sehingga dapat menghambat pembakaran dan menurunkan nilai kalor. Contoh dari pengikat anorganik antara lain semen, lempung, natrium silikat.

b. Perekat organik

Pengikat organik menghasilkan abu yang relatif sedikit setelah pembakaran biobriket dan umumnya merupakan bahan perekat yang efektif. Contoh dari pengikat organik di antaranya kanji, tar, aspal, amilum, molase dan paraffin.

c. *Clay* (lempung)

*Clay* atau yang sering disebut lempung atau tanah liat umumnya banyak digunakan sebagai bahan perekat biobriket. Jenis-jenis lempung yang dapat dipakai untuk pembuatan biobriket terdiri dari jenis lempung warna kemerah-merahan, kekuning-kuningan dan abu-abu. Perekat jenis ini menyebabkan biobriket membutuhkan waktu yang lama untuk proses pengeringannya dan briket menjadi agak sulit menyala ketika dibakar.

d. Tapioka

Jenis tapioka beragam kualitasnya tergantung dari proses pembuatannya terutama pencampuran airnya dan pada saat dimasak sampai mendidih. Tapioka juga banyak digunakan sebagai bahan pengental, bahan pengisi dan bahan perekat.

e. Getah karet

Daya lekat getah karet lebih kuat dibandingkan dengan tanah liat dan tapioka. Namun, ongkos produksinya lebih mahal dan agak sulit mendapatkannya karena harus membeli. Biobriket dengan perekat jenis ini akan menghasilkan asap tebal berwarna hitam dan beraroma kurang sedap bila dibakar.

f. Getah pinus

Keunggulan perekat ini terletak pada daya benturannya yang kuat, meskipun dijatuhkan dari tempat yang tinggi biobriket akan tetap utuh serta mudah menyala jika dibakar. Namun asap yang keluar cukup banyak dan menyebabkan bau yang agak menusuk hidung. Dari jenis-jenis bahan perekat di atas, yang paling umum digunakan adalah bahan perekat tapioka.

Bahan baku yang telah menghitam setelah melalui proses pengarangan kemudian dikumpulkan dan dibentuk. Namun sebelum dibentuk material di haluskan hingga menjadi serbuk atau bentuk yang kecil – kecil lalu dicampur dengan bahan perekat.

#### **4. Pembentukan/ pencetakan**

Pencetakan bertujuan untuk memperoleh bentuk yang seragam dan memudahkan dalam pengemasan serta penggunaannya. Dengan kata lain, pencetak biobriket akan memperbaiki penampilan dan mengangkat nilai jualnya. Oleh karena itu bentuk ketahanan biobriket yang diinginkan tergantung dari alat pencetak yang digunakan.

#### **5. Pengeringan biobriket**

Umumnya kadar air biobriket yang telah dicetak masih sangat tinggi sehingga bersifat basah dan lunak. Oleh karena itu, biobriket perlu dikeringkan. Pengeringan bertujuan mengurangi kadar air dan mengeraskannya hingga aman

dari gangguan jamur dan benturan fisik. Berdasarkan caranya, dikenal 2 metode pengeringan, yakni penjemuran dengan sinar matahari dan pengeringan dengan oven.

Setiap jenis biobriket memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Berikut adalah kelebihan dan kekurangan biobriket arang.

Tabel 6. Kelebihan dan Kekurangan Biobriket Arang

<b>Jenis Briket</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
Biobriket arang selasah	Mudah dibuat, praktis, digunakan, ringan, diangkat, serta aman.	Murah, mudah digunakan, relatif dimatikan dengan cepat, pijar api tidak mudah terlihat (walaupun panas sekali)
Biobriket serbuk gergaji atau sekam	Mudah dibuat, mudah digunakan, praktis dan relatif aman.	Murah, penggunaannya, baik digunakan diruangan terbuka, tidak dapat dimatikan dengan cepat, pijar api tidak mudah terlihat (walaupun panas sekali)
Biobriket kotoran sapi	Nyala api bagus (sering berwarna kebiruan), mudah dibuat, praktis, mudah digunakan, aman dan ringan sehingga memudahkan dalam transportasi.	Adanya kendala budaya dan pandangan negatif pada kotoran sapi di beberapa daerah.

(Sumber: Kurniawan Ade, 2013)

## 2.4 Udara

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konstan. Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi adalah air dalam bentuk uap dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Jumlah uap air yang terdapat di udara bervariasi tergantung dari cuaca dan suhu. Secara alamiah udara mengandung unsur kimia seperti  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  dan lain-lain.

Penambahan gas ke udara melampaui kandungan alami akibat kegiatan manusia yang dapat menurunkan kualitas udara. Udara sebagai komponen lingkungan yang penting dalam kehidupan, sehingga perlu dipelihara dan ditingkatkan kualitasnya agar dapat memberikan daya dukung bagi makhluk hidup untuk hidup secara optimal. Pertumbuhan pembangunan seperti industri, transportasi, dan lain-lain dapat membahayakan kesehatan manusia, mengganggu kehidupan hewan dan tumbuhan dan terganggunya iklim (cuaca).

Udara di alam tidak pernah ditemukan bersih tanpa polusi sama sekali. Beberapa gas seperti sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dan karbon monoksida ( $\text{CO}$ ) selalu dibebaskan ke udara sebagai produk sampingan dari proses-proses alami seperti aktivitas vulkanik, pembusukan sampah tanaman, kebakaran hutan, dan sebagainya. Selain itu partikel-partikel padatan atau cairan berukuran kecil dapat tersebar di udara oleh angin, letusan vulkanik atau gangguan alam lainnya. Selain disebabkan polutan, polusi udara dapat juga disebabkan oleh aktivitas manusia. Umumnya, polutan yang mencemari udara berupa gas dan asap. Gas dan asap tersebut berasal dari hasil proses pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna, yang dihasilkan oleh mesin-mesin pabrik, pembangkit listrik dan kendaraan bermotor. Selain itu, gas dan asap tersebut merupakan hasil oksidasi dari berbagai unsur penyusun bahan bakar, yaitu:  $\text{CO}_2$  (karbon dioksida),  $\text{CO}$  (karbon monoksida),  $\text{SO}_x$  (belerang oksida) dan  $\text{NO}_x$  (nitrogen oksida).

Yang dikatakan sebagai polutan adalah suatu zat atau bahan yang kadarnya melebihi ambang batas serta berada pada waktu dan tempat yang tidak tepat, sehingga merupakan bahan pencemar lingkungan. Polutan tersebut dapat

menyebabkan lingkungan menjadi tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya dan akhirnya dapat merugikan manusia dan makhluk hidup lainnya.

### 2.4.1 Polusi Udara

Zat pencemar melalui udara diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu partikel dan gas. Partikel adalah butiran halus dan masih mungkin terlihat dengan mata telanjang, seperti uap air, debu, asap, dan kabut. Sedangkan pencemaran berbentuk gas hanya dirasakan melalui penciuman (untuk gas tertentu) ataupun akibat langsung. Gas-gas ini antara lain  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , Hidrokarbon dan lain-lain.

#### a. Klasifikasi bahan pencemar udara

Macam-macam bahan pencemar udara dapat diklasifikasikan dalam beberapa kelompok antara lain :

1. Klasifikasi Menurut Bentuk Asal
  - a. Bahan pencemar udara primer yaitu polutan yang apabila menyebar, keadaannya seperti keadaan semula misal partikel halus, senyawa sulfur, nitrogen, karbon, senyawa organik.
  - b. Bahan pencemar udara sekunder yaitu bahan pencemar udara primer yang mengalami reaksi dengan senyawa lain setelah keluar dari sumbernya, misalnya  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
2. Klasifikasi menurut susunan kimia bahan pencemar
  - a. Inorganik misalnya  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ .
  - b. Organik misalnya metan, benzen dan etilen.

#### b. Faktor penyebab pencemaran udara

Pencemaran udara disebabkan oleh beberapa faktor antara lain :

1. Faktor alam (internal), yang bersumber dari aktivitas alam, contoh :
  - a. abu yang dikeluarkan akibat letusan gunung berapi
  - b. gas-gas vulkanik
  - c. debu yang beterbangan di udara akibat tiupan angin
  - d. bau yang tidak enak akibat proses pembusukan sampah organik

2. Faktor manusia (eksternal), yang bersumber dari hasil aktivitas manusia :
  - a. Hasil pembakaran bahan-bahan fosil dari kendaraan bermotor
  - b. Bahan-bahan buangan dari kegiatan pabrik industri yang memakai zat kimia organik dan anorganik
  - c. Pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara
  - d. Pembakaran sampah rumah tangga
  - e. Pembakaran hutan

Pencemaran udara disebabkan oleh asap buangan, misalnya gas CO<sub>2</sub> hasil pembakaran, SO<sub>2</sub>, CFC/ Chlorofluorocarbon yaitu gas yang dapat menyebabkan menipisnya lapisan ozon yang ada di atmosfer bumi, CO, dan asap rokok. Menurut Harsema (1998), pencemaran udara diawali oleh adanya emisi. Emisi merupakan jumlah polutan (pencemar) yang dikeluarkan ke udara dalam satuan waktu. Emisi dapat disebabkan oleh proses alam maupun kegiatan manusia. Emisi yang disebabkan proses alam disebut *biogenic emissions*, sebagai contoh gas metana (CH<sub>4</sub>) yang terjadi sebagai akibat dekomposisi bahan organik oleh bakteri pengurai. Emisi yang disebabkan kegiatan manusia disebut *anthropogenic emissions*. Contoh emisi di udara yang disebabkan oleh kegiatan manusia adalah hasil pembakaran bahan bakar fosil (bensin, solar, batubara), pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara dan sebagainya.

Penyebab polusi dapat diklasifikasikan sebagai polusi udara primer dan sekunder. Polusi primer seperti SO<sub>2</sub> dapat langsung mencemari udara sebagai proses alamiah atau aktivitas manusia. Polusi sekunder seperti asam sulfat terbentuk di udara melalui reaksi kimia antara polusi primer dengan komponen kimia yang sudah ada di udara (Darmono, 2001).

#### **2.4.2 Karbon Monoksida (CO)**

1. Pengertian Karbon Monoksida

Karbon dan Oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon monoksida (CO)

merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna, dan dapat berbentuk cairan pada suhu dibawah  $-129^{\circ}\text{C}$ . Berat jenis sedikit lebih ringan dari udara (menguap secara perlahan ke udara), CO tidak stabil dan membentuk  $\text{CO}_2$  untuk mencapai kestabilan fasa gasnya. Konsentrasi gas CO sampai dengan 100 ppm masih dianggap aman kalau waktu kontak hanya sebentar. Gas CO sebanyak 30 ppm apabila dihisap manusia selama 8 jam akan menimbulkan rasa pusing dan mual. Senyawa CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu haemoglobin.

2. Sifat-sifat gas CO sebagai berikut :

- a. Gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak menyebabkan iritasi, beracun dan berbahaya.
- b. Tidak mudah larut dalam air.
- c. Perbandingan berat terhadap udara (1 atm derajat C) 0.967.
- d. Mudah terbakar dan menghasilkan lidah api berwarna biru, menghasilkan karbon dioksida.

3. Sumber Karbon Monoksida

Karbon monoksida di lingkungan dapat terbentuk secara alamiah, tetapi sumber utamanya adalah dari kegiatan manusia. Karbon monoksida yang berasal dari alam termasuk dari lautan, oksidasi metal di atmosfer, pegunungan, kebakaran hutan dan badai listrik alam. Sumber CO buatan antara lain kendaraan bermotor, terutama yang menggunakan bahan bakar bensin. Berdasarkan estimasi, jumlah CO dari sumber buatan diperkirakan mendekati 60 juta ton per tahun. Separuh dari jumlah ini berasal dari kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin dan sepertiganya berasal dari sumber tidak bergerak seperti pembakaran batubara dan minyak dari industri dan pembakaran sampah domestik. Secara umum, proses terbentuknya gas CO melalui proses berikut ini :

1. Pembakaran bahan bakar fosil dengan udara



2. Pada suhu tinggi, terjadi reaksi antara CO<sub>2</sub> dengan C



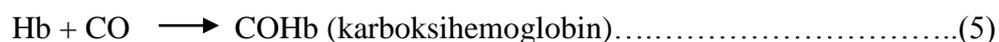
3. Pada suhu tinggi, CO<sub>2</sub> dapat terurai kembali menjadi CO dan oksigen



4. Dampak Pencemaran

a. Kesehatan Manusia

Karbon monoksida (CO) apabila terhisap ke dalam paru-paru akan ikut peredaran darah dan akan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Hal ini dapat terjadi karena gas CO bersifat racun metabolis, ikut bereaksi secara metabolis dengan darah. Seperti halnya oksigen, gas CO mudah bereaksi dengan darah (hemoglobin).



Reaksi ini mengakibatkan berkurangnya kapasitas darah untuk menyalurkan O<sub>2</sub> kepada jaringan-jaringan tubuh. Kadar COHb akan bertambah dengan meningkatnya kadar CO di atmosfer. Gejala yang terasa dimulai dengan pusing-pusing, kurang dapat memperhatikan sekitarnya kemudian terjadi kelainan fungsi susunan syaraf pusat, perubahan fungsi paru-paru dan jantung, sesak napas, dan pingsan dan pada akhirnya kematian pada 750 ppm (Slamet, 1994).

Pengaruh karbon monoksida (CO) terhadap tubuh manusia ternyata tidak sama untuk manusia yang satu dengan yang lain. Daya tahan tubuh manusia ikut menentukan toleransi tubuh terhadap pengaruh adanya karbon monoksida. Keracunan gas CO dapat ditandai dari keadaan yang ringan, berupa pusing, sakit kepala dan mual. Keadaan yang lebih berat dapat berupa menurunnya kemampuan gerak tubuh, gangguan pada sistem kardiovaskular, serangan jantung sampai pada kematian. Pertolongan bagi orang yang keracunan gas karbon monoksida pada tingkat yang relative masih ringan dapat dilakukan dengan membawa korban ke tempat yang berudara terbuka (segar) dan memberikan kesempatan kepada korban untuk bernafas dalam-dalam. Masuknya udara segar (oksigen) ke dalam tubuh korban akan mengubah karboksihemoglobin menjadi oksihemoglobin.

Tabel 7. Pengaruh gas CO di udara dengan konsentrasi COHb darah terhadap pengaruhnya kepada tubuh

Konsentrasi CO di udara (ppm)	Konsentrasi COHb dalam darah (%)	Gangguan pada tubuh
3	0,98	Tidak ada
5	1,3	Belum begitu terasa
10	2,1	Sistem syara sentral
20	3,7	Panca indera
40	6,9	Fungsi jantung
60	10,1	Sakit kepala
80	13,3	Sulit bernapas
100	16,5	Pingsan - kematian

(Sumber :Wardhana, 2001)

b. Ekosistem dan Lingkungan

Di udara, CO terdapat dalam jumlah yang sedikit, hanya sekitar 0.1 ppm. Di perkotaan dengan lalu lintas yang padat, konsentrasi gas CO antara 10-15 ppm. Sudah sejak lama diketahui bahwa gas CO dalam jumlah banyak (konsentrasi tinggi) dapat menyebabkan gangguan pada ekosistem dan lingkungan.

c. Hewan

Pada hewan, dampak dari kadar CO yang berlebihan hampir menyerupai dampak yang terjadi pada manusia, yaitu dapat menyebabkan kematian.

d. Tanaman

Pengaruh CO terhadap tanaman sebesar 100 ppm tidak memberikan pengaruh yang nyata pada tanaman tingkat tinggi. Pada paparan CO sebesar 2000 ppm selama 35 jam dapat menghambat kemampuan bakteri untuk memfiksasi nitrogen.

e. Material

Pada material, dampak pencemaran udara oleh CO adalah menghitamkan benda-benda pada daerah yang telah tercemar oleh CO.

### 2.4.3 Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

Nitrogen oksida sering disebut dengan NO<sub>x</sub>, karena oksida nitrogen mempunyai 2 macam bentuk yang sifatnya berbeda, yaitu gas NO<sub>2</sub> dan gas NO. Sifat gas NO<sub>2</sub> adalah berwarna dan berbau, sedangkan gas NO tidak berwarna dan tidak berbau. Warna gas NO<sub>2</sub> adalah merah kecoklatan dan berbau tajam menyengat hidung.

Dari seluruh jumlah NO<sub>x</sub> yang dibebaskan ke atmosfer, jumlah yang terbanyak adalah dalam bentuk NO yang diproduksi oleh aktivitas bakteri. Akan tetapi polusi NO dari sumber alami ini tidak merupakan masalah karena tersebar secara merata sehingga jumlahnya menjadi kecil. Yang menjadi masalah adalah polusi NO yang diproduksi oleh kegiatan manusia karena jumlahnya akan meningkat hanya pada tempat-tempat tertentu.

Konsentrasi NO<sub>x</sub> di udara daerah perkotaan biasanya 10-100 kali lebih tinggi daripada di udara daerah pedesaan. Konsentrasi NO<sub>x</sub> di udara daerah perkotaan dapat mencapai 0,5 ppm (500 ppb). Seperti halnya CO, emisi nitrogen oksida dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NO<sub>x</sub> yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan, produksi energi dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO<sub>x</sub> yang dibuat manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas alam dan bensin.

Oksida yang lebih rendah yaitu NO terdapat di atmosfer dalam jumlah lebih kecil dari NO<sub>2</sub>. Pembentukan NO dan NO<sub>2</sub> mencakup reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara sehingga membentuk NO, kemudian reaksi selanjutnya antara NO dengan lebih banyak oksigen membentuk NO<sub>2</sub>. Persamaan reaksinya adalah sebagai berikut :



Seperti halnya CO, emisi NO<sub>x</sub> dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NO<sub>x</sub> yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan bermotor, produksi energi

dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO<sub>x</sub> buatan manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas, dan bensin.

Oksida nitrogen seperti NO dan NO<sub>2</sub> berbahaya bagi manusia. Penelitian menunjukkan bahwa NO<sub>2</sub> empat kali lebih beracun daripada NO. Selama ini belum pernah dilaporkan terjadinya keracunan NO yang mengakibatkan kematian. Diudara ambient yang normal, NO dapat mengalami oksidasi menjadi NO<sub>2</sub> yang bersifat racun. Penelitian terhadap hewan percobaan yang dipajankan NO dengan dosis yang sangat tinggi, memperlihatkan gejala kelumpuhan sistem syaraf dan kekejangan. Penelitian lain menunjukkan bahwa tikus yang dipajan NO sampai 2500 ppm akan hilang kesadarannya setelah 6-7 menit, tetapi jika kemudian diberi udara segar akan sembuh kembali setelah 4-6 menit. Tetapi jika pemajanan NO pada kadar tersebut berlangsung selama 12 menit, pengaruhnya tidak dapat dihilangkan kembali, dan semua tikus yang diuji akan mati. NO<sub>2</sub> bersifat racun terutama terhadap paru. Kadar NO<sub>2</sub> yang lebih tinggi dari 100 ppm dapat mematikan sebagian besar binatang percobaan dan 90% dari kematian tersebut disebabkan oleh gejala pembengkakan paru (*edema pulmonari*). Kadar NO<sub>2</sub> sebesar 800 ppm akan mengakibatkan 100% kematian pada binatang-binatang yang diuji dalam waktu 29 menit atau kurang. Pemajanan NO<sub>2</sub> dengan kadar 5 ppm selama 10 menit terhadap manusia mengakibatkan kesulitan dalam bernapas (Darmono, 2001).

#### Dampak Pencemaran

##### a. Kesehatan manusia

Beberapa bahaya atau dampak paparan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) pada manusia yaitu:

- Keracunan akut/infeksi saluran pernafasan
- Lemah, sesak nafas, batuk menimbulkan gangguan pada jaringan paru-paru
- Dapat menyebabkan asma

##### b. Ekosistem dan Lingkungan

Pencemaran oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) bagi tumbuhan menyebabkan bintik-bintik pada permukaan daun, bila konsentrasinya tinggi dapat mengakibatkan nekrosis atau kerusakan jaringan daun yang mengakibatkan proses fotosintesis

terganggu. Dalam keadaan seperti ini daun tidak dapat berfungsi sempurna sebagai tempat terbentuknya karbohidrat melalui proses fotosintesis. Akibatnya tanaman tidak dapat berproduksi seperti yang diharapkan. Konsentrasi NO sebanyak 10 ppm sudah dapat menurunkan kemampuan fotosintesis daun sampai sekitar 60% hingga 70% (Pohan, 2002).

Di udara oksida nitrogen dapat menimbulkan PAN (*Peroxy Acetyl Nitrates*) yang dapat menyebabkan iritasi mata (pedih dan berair). PAN bersama senyawa yang lain akan menimbulkan kabut foto kimia (*Photo Chemistry Smog*) yang dapat mengganggu lingkungan dan dapat merusak tanaman. Daun menjadi pucat karena selnya mati. Jika hidrokarbon bercampur bahan lain toksitasnya akan meningkat (Anonim, 2008).

#### c. Hewan

Berdasarkan studi menggunakan binatang percobaan, pengaruh yang membahayakan seperti misalnya meningkatnya kepekaan terhadap radang saluran pernafasan, dapat terjadi setelah mendapat oksida nitrogen sebesar 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tugaswati, 2004).

#### d. Tumbuhan

Selain mempengaruhi ekosistem perairan, peningkatan jumlah nitrogen yang terserap dalam tanah akibat adanya hujan asam juga dapat mengakibatkan ketidakseimbangan nutrisi di dalam tanah. Gejala ini menyebabkan terjadinya pencucian mineral seperti Ca, Mg, dan Potassium yang merupakan yang mineral utama bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Mineral tersebut digantikan oleh logam berat seperti Al, yang justru menghambat pertumbuhan akar dan menghambat penyerapan air. Tanaman kemudian mulai mati, karena kekurangan air. Adanya pelapukan dalam batang menandakan terjadinya kerusakan sistem transportasi air pada tanaman. Akibatnya produktivitas tumbuhan menurun dan menghilangkan keragaman hayati karena hanya spesies tertentu saja yang dapat bertahan. Pada tumbuhan, Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) menimbulkan kerusakan jaringan sel mesophyll. Kerusakan ditandai oleh adanya bercak warna putih atau coklat pada permukaan daun. Kebutuhan nitrogen dalam tanaman hanya diperlukan dalam jumlah yang tidak terlalu banyak.

e. Material

Hujan asam juga dapat mempercepat proses pengkaratan dari beberapa material seperti batu kapur, pasirbesi, marmer, batu pada dinding beton serta logam. Ancaman serius juga dapat terjadi pada bangunan tua serta monumen termasuk candi dan patung. Hujan asam dapat merusak batuan sebab akan melarutkan kalsium karbonat, meninggalkan kristal pada batuan yang telah menguap. Seperti halnya sifat kristal semakin banyak akan merusak batuan.

Tabel 8. Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Begerak Menggunakan Bahan Bakar Biomassa

No	Parameter	Baku Mutu (mg/m <sup>3</sup> )
1	Partikulat	300
2	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	600
3	Nitrogen Oksida (NO <sub>2</sub> )	800
4	Hidrogen Klorida (HCL)	5
5	Ammonia (NH <sub>3</sub> )	1
6	Hidrogen Sulfida (HF)	8

(Sumber : Peraturan Gubernur Sumatera Selatan nomor 6 tahun 2012)