

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian dan beberapa jurnal ilmiah yang telah ada mengenai pembahasan pembangkit listrik energi terbarukan dari biomassa yang memanfaatkan sampah organik dimana sampah organik tersebut di *fermentasi* dengan termokimia yang nantinya akan menghasilkan biomassa dengan kandungan didalamnya terdapat macam macam gas seperti gas metana (CH_4), gas karbon dioksida (CO_2) dan juga gas lainnya. Biomassa yang sudah terbentuk nantinya akan di jadikan untuk sumber energi memutar generator. Berikut ini akan dijelaskan beberapa penelitian yang berkaitan dengan hasil penelitian yang dijadikan sebagai sumber referensi untuk penyusunan tugas akhir ini:

(DKP Kota Surabaya Chalid Buchari 2016), Jumlah energi listrik yang dihasilkan dari pengelolaan limbah sampah di TPA Benowo, 10 megawatt. Jumlah itu berasal dari total limbah sampah yang masuk ke TPA Benowo yang mencapai 1.400 ton setiap harinya. Hasil tersebut terdiri dari listrik 2 megawatt memakai proses *landfill*, sedangkan 8 megawatt menggunakan sistem gasifikasi

(Dr.Ir. Rosad Ma'ali El Hadi, M.Pd., M.T. 2016), Telkom University dan Bandung Techno Park mengembangkan biodigester dari sampah oraganik yang dijadikan energi terbarukan yang menghasilkan 1000 liter, gas (biogas) yang bisa dimanfaatkan untuk 3-4 kantin dan dipergunakan sebagai bahan bakar untuk memasak di Kantin kampus Telkom university dengan kompor khusus

(Safrizal 2014), judul penelitian *Distributed Generation Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kota (PLTSA) Type Incinerator*. Alternatif kelistrikan Kota Medan. Didalam penelitian ini diterangkan bahwa penggunaan energi terbarukan dengan pemanfaatan sampah kota dapat mengurangi pemanasan global karena bisa menjadi altrnatif penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan baku pembangkitan energi listrik. Disisi lain, potensi sampah kota dijadikan sumber energi listrik bisa dimanfaatkan untuk mengurangi defisit listrik di kota Medan.

Penelitian ini menggunakan *Incinerator* yang mengkonversi sekitar 1812 ton/hari menghasilkan energy listrik 21,744MW dari sampah.

(N D. Siswati dan T. Iskandar 2012) judul penelitian tentang Pemanfaatan Limbah Pertanian Sebagai Energi Alternatif Melalui Konversi *Thermal*. Penelitian ini dengan metode gasifikasi dalam pemanfaatan biomassa untuk dijadikan sumber energi listrik. Dalam penelitian ini, gasifikasi biomassa dengan sistem energi alternatif yang dikembangkan dengan sistem jenis *gasifikasi down draft*, karena gas yang dihasilkan dari 2 kg biomassa bisa menghasilkan listrik 0,21kwh

Maulana Arifin, dkk (2011) dari Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI melakukan penelitian biogas sebagai sumber pembangkit tenaga listrik di Pesantren Saung Balong Al-Barokah, Majalengka, Jawa Barat. Penelitian ini menyebutkan bahwa jumlah konsumsi biogas untuk pembangkit listrik dengan genset menghasilkan daya output 1047 Watt . Reaktor menggunakan *digester* beton dengan Volume 7 m³ dan menghasilkan biogas sebesar 1,92 m³/hari dengan memasukkan kotoran sapi sebanyak 0,5 m³/hari atau sama dengan kotoran 4-6 ekor sapi.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian Sampah

Sampah merupakan kumpulan dari adanya buangan sebuah aktifitas mahluk hidup berupa materi yang berbentuk cair, padat dan gas yang tidak bernilai ekonomi. Dalam Undang-Undang No.18 tentang pengolahan sampah menyatakan definisi sampah sebagai sisa kegiatan sehari hari manusia dan atau dari proses alam yang berbentuk padat.

a. Jenis-Jenis Sampah Berdasarkan Sifatnya

- Sampah organik terdiri dari sisa pohon, sisa makanan, sisa sayur dan buah yang terdiri dari berbagai macam senyawa organik yang tersusun oleh unsur karbon, hidrogen dan oksigen serta sampah organik mudah terdegradasi oleh mikroba.
- Sampah anorganik terdiri dari kaleng, plastik, besi, kaca dan bahan lain yang tidak tersusun oleh senyawa organik. Sampah ini tidak bisa terdegradasi oleh mikroba sehingga sulit diuraikan.

2.2.2 Pengolahan Sampah

Pengolahan sampah di UMY hanya sebatas di angkut oleh PJM Gamping dan dibuang di TPA Piyungan kab Bantul, juga ada yang di pungut oleh para ibu-ibu pemulung untuk di jual kembali ke pengepul karena mereka mengandalkan sebagian rezeki mereka dari memulung sampah di UMY. Ini sangat baik untuk kepedulian UMY terhadap warga yang ingin mencari rezeki mereka di UMY tetapi permasalahannya itu akan timbul ketika sebagai universitas *green campus* tidak bisa mengolah sendiri sampahnya sendiri. Ada berbagai metode pengolahan sampah dan cara penerapannya sebagai berikut:

a. *Open Dumping (Pembuangan Terbuka)*

Dengan cara pembuangan sederhana dimana sampah dibuang pada suatu lokasi lalu dibiarkan terbuka tanpa pengamanan juga ditinggalkan setelah lokasi sudah penuh.

b. *Controlled Landfill*

Metode ini adalah peningkatan dari open dumping dimana sampah yang telah tertimbun ditutup dengan lapisan tanah agar terhindari potensi gangguan yang ditimbulkan dari sampah. Dalam operasionalnya, dilakukan perataan juga dipadatkan sehingga sampah lebih padat untuk lokasi pembuangannya agar lebih efisien untuk lahannya.

c. *Sanitary Landfill*

Metode ini ialah metode yang dikembangkan dari metode controlled landfill dimana penimbunan sampah dipadatkan dengan tanah, yang dilakukan terus secara berlapis sesuai dengan rencana yang diterapkan. Pelapisan sampah dengan tanah penutup dilakukan setiap hari pada akhir jam operasi.

d. *Inceneration*

Metode inceneration dilakukan dengan cara membakar sampah yang telah terkumpul untuk mereduksi volume buangan padat.

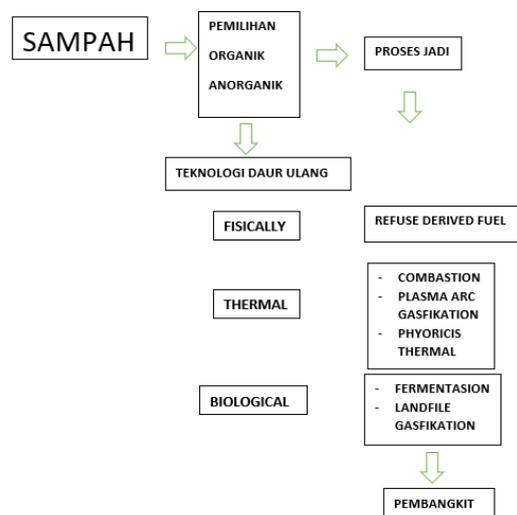
e. *Composting*

Metode ini dilakukan dengan cara mengubah sampah organik menjadi kompos sebagai penyubur tanaman.

2.2.3 PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah)

Pembangkit listrik tenaga sampah merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan sampah sebagai sumber energi utamanya. Pembangkit listrik tenaga sampah memiliki 2 macam bahan baku energi yang bisa dipakai yaitu dari biomassa dan biogas.

Berikut gambaran pemanfaatan sampah untuk pembangkit listrik tenaga sampah.



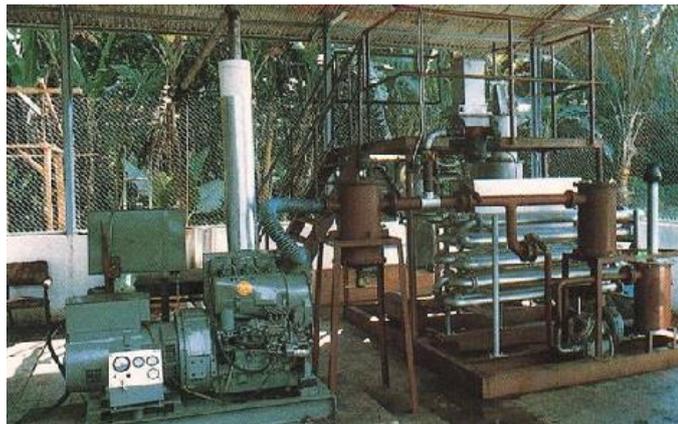
Gambar 2.1 Teknologi PLTSa

Gambar diatas menunjukkan teknologi yang digunakan dalam pengelolaan sampah untuk dijadikan energi listrik menggunakan tiga mekanisme kerja yaitu secara fisika, *thermal* dan *biologi*. Dari beberapa jenis teknologi diatas, dapat dijelaskan dua teknologi yang sudah banyak digunakan yaitu teknologi gasifikasi (*thermal*) dan secara fermentasi (*biologi*) karena sudah banyak yang memakai teknologi tersebut.

Dalam memenuhi kebutuhan listrik di UMY hanya dari PLN dan disisilain potensi sampah di UMY lumayan banyak untuk di jadikan sebagai energi untuk pembangkit listrik tenaga sampah. Hal ini sebagai potensi untuk mengurangi konsumsi listrik dari PLN dan banyak teknologi untuk pembangkit listrik tenaga sampah hanya beberapa teknologi yang pas untuk di bangun di UMY dimana teknologi tersebut dirasa cukup efektif seperti :

a. Gasfikasi

Gasfikasi ialah proses suatu konversi energi secara termokimia yang akan terjadi penguraian biomassa dilakukan di dalam sebuah alat yang disebut gasfier reactor, penguraian itu dilakukan dengan cara pemanasan menggunakan suhu sekitar 900°C . Biasanya bahan baku yang digunakan seperti sampah organik. Ada pula jenis gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi yaitu CO , H_2 , CH_4 , N_2 dan CO_2 . Gas hasil gasifikasi seperti gas metana dapat digunakan untuk keperluan sebagai sumber bahan bakar untuk menjalankan mesin pembakaran, digunakan untuk memasak sebagai bahan bakar kompor, atau digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik sederhana. Dengan gasifikasi, kita dapat mengubah hampir semua bahan organik kering jadi bahan bakar, sehingga bisa jadi *alternative* energi terbarukan untuk pembangkit listrik.

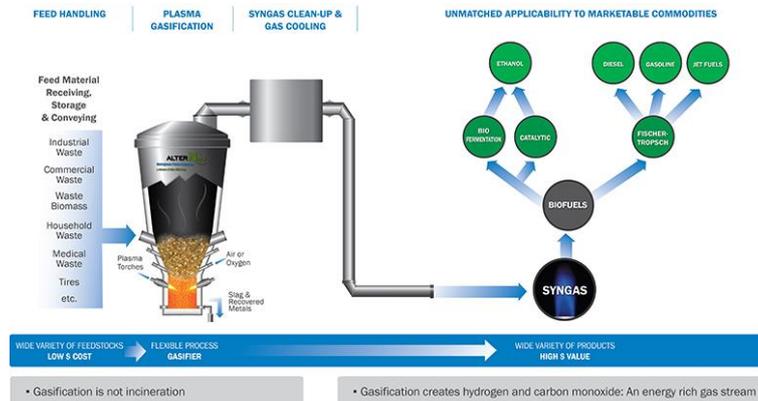


Gambar 2.2 Unit Gasifikasi di ITB

Beberapa keunggulan gasifikasi adalah:

1. Bisa menghasilkan produksi gas yang konsisten untuk digunakan sebagai pembangkit listrik.
2. Bisa mengkonversi semua bahan bakar termasuk batu bara, minyak, berbagai macam sampah dan lain sebagainya.
3. Bisa mengubah sampah yang bernilai rendah jadi produk yang bernilai lebih tinggi.
4. Bisa mengurangi jumlah sampah.
5. Gas yang dihasilkan tidak berbahaya karena tidak mengandung gas *furan* dan *dioxin*.

Berikut ini adalah gambar 2.3 yaitu skema penerapan teknologi sistem *thermal* gasifikasi.



Gambar 2.3 Proses Kerja PLTSa Thermal Dengan Gasifikasi

Tahapan proses gasifikasi di dalam gasfier reaktor terjadi beberapa proses seperti pengeringan, pirolisasi, reduksi dan oksidasi dengan rentang tempratur masing masing berbeda yaitu:



Gambar 2.4 Tahapan proses gasifikasi di dalam gasfier

1. Proses pengeringan

Pengeringan adalah awal tahapan untuk proses gasifikasi, dimana air yang terkandung didalam diuapkan dengan gas panas dari pembakaran pada bagian bawah reaktor, temperatur yang digunakan berkisar 150°C.

2. Proses Pengarangan (*Pirolisa*)

Selanjutnya didalam proses pengarangan bahan bakar yang sudah kering akan mengalami pemanasan pada suhu 500-700°C dengan menggunakan udara panas sehingga akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna menjadikan bahan bakar akan terurai jadi arang, asam organik dan juga dalam bentuk zat lainnya.

3. Proses Oksidasi

Didalam ini juga terjadi proses oksidasi, dimana zat yang dihasilkan dibakar dengan bantuan udara dan menghasilkan gas yang mampu terbakar dengan sempurna, dilain sisi juga akan terbentuk gas CO_2 yang disertai timbulnya energi panas. Yang dihasilkan pada proses ini yaitu jenis gas yang bisa ditarik atau

dikeluarkan dari reaktor. Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran ialah sebagai berikut:



Reaksi pembakaran lain yang berlangsung ialah oksidasi hidrogen yang terkandung dalam bahan bakar membentuk kukus. Reaksi yang terjadi ialah sebagai berikut:

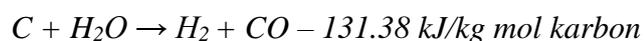


Terdapat tiga elemen untuk melakukan reaksi pembakaran ini, yaitu panas (*heat*), bahan bakar (*fuel*), dan udara (*oxygen*). Reaksi pembakaran akan terjadi jika ketiga elemen tersebut ada. Di dalam udara tidak hanya oksigen (O_2) saja, tetapi ada juga nitrogen (N_2) dengan perbandingan 21% dan 79%. Nitrogen ini jika terikat dengan O_2 akan jadi polutan yaitu NO_2 yang bisa jadi racun dan mencemari udara. Disisi lain polutan, N_2 juga bisa menyerap panas pada proses pembakaran sehingga bisa menurunkan efisiensi pembakaran. Dalam perhitungan neraca massa dan energi. Jumlah nitrogen yang masuk sama dengan yang keluar dan sedikit membentuk NO_2 atau dengan kata lain gas ini hanya lewat saja dalam proses juga mengurangi efisiensi pembakaran.

4. Proses Reduksi

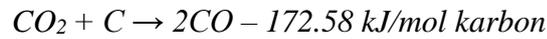
Proses ini ialah proses terakhir dimana akan terjadi pertukaran uap air serta terjadi reduksi CO_2 oleh arang karbon. Dari proses ini, gas yang dihasilkan akan meningkatkan secara signifikan. Pada proses ini juga terjadi beberapa reaksi kimia, seperti *Water-gas reaction Bourdour reaction*, *Shift conversion*, dan *CO methanation*. Pengertian dari reaksi kimia diatas, adalah sebagai berikut:

Water gas reaction ialah reaksi reduksi parsial karbon oleh kukus yang berasal dari bahan bakar padat itu sendiri (hasil *pirolisis*) maupun dari sumber yang berbeda, seperti uap air yang dicampur dengan udara dan uap yang diproduksi dari penguapan air. Terjadi reaksi pada water-gas reaction sebagai berikut:

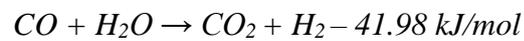


Pada proses *gasifier*, kukus dipasok sebagai medium penggasifikasi dengan atau tanpa udara.

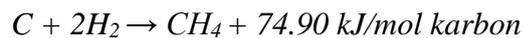
Boudouard reaction ialah reaksi karbondioksida yang terdapat di dalam gasifier dengan arang untuk menghasilkan *CO*. Terjadi reaksi pada *Boudouard reaction* sebagai berikut:



Shift conversion ialah reaksi reduksi karbon monoksida oleh kukus agar menghasilkan *hidrogen*. Reaksi ini dikenal sebagai *water-gas shift* yang menghasilkan peningkatan *hidrogen* terhadap *karbon monoksida* pada gas *produser*. Reaksi ini digunakan untuk pembuatan gas sintetik. Terjadi reaksi sebagai berikut:



CO Methanation merupakan reaksi pembentukan gas metan. Terjadi reaksi pada *methanation* sebagai berikut:



Pengkonversian melalui gasifikasi tersebut dapat mengolah hampir semua bahan organik jadi bahan bakar (biomassa) yang nantinya di pakai untuk menggerakkan generator gas, sehingga dapat menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber bahan bakar. Melalui proses gasifikasi 4-8 kg sampah organik diperkirakan dapat dimanfaatkan sebagai pengganti 1 liter bahan bakar.

b. Landfill

Sebuah *landfill* yang berisi timbunan sampah bekerja seperti *bio reaktor* dimana gas *landfill* dihasilkan dari proses biokimia dari dekomposisi material organik. *Gas landfill* adalah suatu gas campuran yang utamanya terdiri dari *metana*, *karbondioksida* dan *nitrogen*. Komposisi gas *landfill* yang dihasilkan oleh deposit materi organik di TPA bervariasi signifikan selama fase operasional penimbunan .

Gas landfill tidak berwarna, memiliki kepadatan 1,25 kg/Nm³, dan lebih ringan dari udara. Seringkali *gas landfill* berbau tidak enak karena adanya kandungan *hidrogen sulfida* (Larsson, 2014). Biogas dengan kandungan metana lebih dari 45% bersifat mudah terbakar (*flammable*) (Deublein dan Steinhauser, 2011). Intensitas produksi gas juga bervariasi tergantung waktu sejak dari sampah mengendap di *landfill*. Komposisi gas *landfill* dan alirannya adalah kunci utama

yang menentukan penggunaan potensi energi sebuah *landfill* yang tepat dan bermanfaat.

Dekomposisi sampah memiliki waktu jeda, tidak langsung terjadi setelah sampah dibuang. Oleh karena itu, emisi CH_4 oleh dekomposisi sampah dapat berlangsung dalam periode waktu yang panjang (kira-kira 50 tahun) setelah sampah ditimbun dalam *landfill* (Feng, et al., 2014, IPCC, 2006). Model dekomposisi khas organik terdiri dari lima tahap proses kimiawi dan biokimiawi yang menghasilkan gas *landfill*. Diagram dekomposisi organik menunjukkan komponen bervariasi dari gas *landfill*. Diagram dasar membedakan antara 5 fase dekomposisi substansi organik, termasuk dekomposisi *aerobik*, dekomposisi *anaerobik* (*fermentasi* asam, *unsteady* dan *steady methanogenesis*), dan akhir dari produksi *metana*. Tahap akhir pada diagram tersebut yaitu tahap kelima menunjukkan akhir dari *dekomposisi anaerobik* dan produksi *metana* dari timbunan sampah secara bertahap (Krakow, 2010).

Fermentasi *metana* merupakan sebuah proses yang kompleks yang dapat dibagi menjadi 4 tahap degradasi, yaitu *hidrolisis*, *acidogenesis*, *acetogenesis* dan *metanogenesis*.

a. Hidrolisis

Didalam tahap *hidrolisis*, air akan bereaksi dengan polimer organik rantai panjang seperti *polisakarida*, lemak juga protein agar membentuk *polimer* rantai pendek yang terlarut seperti gula, asam lemak rantai panjang dan asam *amino*. Proses ini dilakukan dengan *selulosa*, *amilase*, *lipase* atau *protease* (enzim yang diproduksi oleh *mikroorganisme*).

b. Asidogenesis

Pada fase *asidogenesis*, *monomer* yang terbentuk dalam fase *hidrolisis* terdegradasi menjadi asam organik rantai pendek, *molekul C1-C5* (seperti asam *butirat*, asam *propionat*, *asetat*, asam *asetat*), alkohol, *nitrogen oksida*, *hidrogen sulfida*, *hidrogen*, dan *karbon dioksida*. Berbagai bakteri yang berbeda melakukan *asidogenesis*. *Karbohidrat* diurai oleh *lactobacillus*, asam lemak oleh *acetobacter*, dan asam *amino* oleh *clostridium botulinum*. Konsentrasi ion *hidrogen* yang terbentuk mempengaruhi jenis produk *fermentasi*.

c. Asetogenesis

Didalam tahapan ini, bakteri *asetogenik* yang memproduksi *hidrogen* mengubah asam lemak dan *etanol/alkohol* jadi *asetat*, *karbon dioksida* juga *hidrogen*. Perubahan lanjutan ini penting bagi kelangsungan produksi biogas, karena *metanogen* tidak dapat menggunakan senyawa asam lemak dan *etanol* secara langsung.

d. Metanogenesis

Pembentukan metana terjadi pada kondisi *anaerobik* yang ketat (*respirasi karbon*). Dengan demikian, karbon pada biomassa dikonversi ke *karbondioksida* (terlarut sebagai $HCO_3^- + H_2$) dan *metana*. *Metana* dibentuk dengan dua rute utama. Pada rute pertama ialah rute primer yaitu *fermentasi* produk utama yang berasal dari tahap pembentukan asam yaitu asam *asetat* yang diubah jadi *metana* dan *karbon dioksida*. Bakteri yang mengubah asam *asetat* ialah bakteri *asetoklastik* atau *asetofilik*. Rute kedua ialah rute sekunder yaitu menggunakan *hidrogen* agar mengurangi CO_2 dan menghasilkan CH_4 dengan *metanogen hidrogenofilik*. Hanya sejumlah senyawa dalam jumlah terbatas yang dapat digunakan sebagai *substrat* dalam *metanogenesis* yaitu *asetat*, H_2 , CO_2 , *metanol*, dan *format*. Berdasarkan *stoikiometri*, diperkirakan bahwa sekitar 70% dari *metana* dihasilkan dari *asetat*, sedangkan 30% dari H_2 dan CO_2 .

1. Sistem Penangkapan Gas dari Landfill

Sistem penangkapan gas *landfill* dapat dikonfigurasi dengan sumur vertikal, parit horizontal atau kombinasi keduanya. Metode paling umum dalam penangkapan gas yaitu pengeboran sumur vertikal ke dalam timbunan sampah dan menghubungkan pipa untuk mengalirkan gas ke penampungan menggunakan blower atau sistem induksi vakum. Tipe sistem penangkapan gas *landfill* lainnya yaitu menggunakan pipa horizontal dalam timbunan sampah. Sistem perpipaan horizontal berguna pada tipe *landfill* yang lebih dalam dan pada area penimbunan yang aktif. Beberapa sistem penangkapan menggabungkan sumur vertikal dan horizontal. Pemilihan desain bergantung pada kondisi spesifik TPA dan waktu instalasi sistem penangkapan gas *landfill*. Menggambarkan contoh site plan ekstraksi gas *landfill*, desain sumur ekstraksi vertikal dan horizontal.

2. Sistem Treatment Gas *Landfill*

Sebelum gas landfill dapat digunakan dalam proses konversi, gas ini harus dibersihkan untuk menghilangkan kondensat, partikulat dan pengotor lainnya. Kondensasi terbentuk ketika gas hangat dari *landfill* menjadi dingin selama melalui sistem penangkapan. Jika air tidak dipisahkan dari gas dapat menyebabkan penyumbatan pada sistem perpipaan dan mengganggu proses penangkapan energi. Gas *landfill* juga kadang mengandung *siloksan* dan senyawa *sulfur* yang berasal dari sampah.