TUGAS AKHIR – TF 091381

ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI PEMANFAATAN BIOMASSA SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK DI SURABAYA

MUHYIDDIN AZMI
NRP 2410 100 060

Dosen Pembimbing
Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT
Ir. Sarwono MM

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014

FINAL PROJECT – TF 091381

ANALYSIS TECHNIQUES AND ECONOMIC POTENTIAL OF BIOMASS UTILIZATION OF ELECTRICAL ENERGY GENERATION AS IN SURABAYA

MUHYIDDIN AZMI
NRP 2410 100 060

Supervisor
Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT
Ir. Sarwono MM

DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabava 2014

ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI PEMANFAATAN POTENSI BIOMASSA SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK DI SURABAYA

TUGAS AKHIR

Oleh:

MUHYIDDIN AZMI
NRP: 2410100060

Surabaya, Juli 2014

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT	**Ir. Sarwono, MM**
NIP. 197711272002121002	**NIP. 195805301983031002**

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI - ITS

Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA
NIP . 19653091990021001

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI PEMANFAATAN POTENSI BIOMASSA SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK DI SURABAYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
MUHYIDDIN AZMI
NRP. 2410100060

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT ..... (Pembimbing I)
2. Ir. Sarwono, MM ..... (Pembimbing II)
3. Dr. Ridho Hantoro, ST, MT ..... (Ketua Sidang)
4. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA ..... (Penguji I)
5. Dr. Ir.Purwadi Agus Darwito, MSc ..... (Penguji II)
6. Nur Laila Hamidah, ST, Msc ..... (Penguji III)

SURABAYA
Juli, 2014

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS TEKNIK DAN EKONOMI PEMANFAATAN POTENSI BIOMASSA SEBAGAI PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK DI SURABAYA

Nama Mahasiswa	**:**	**Muhyiddin Azmi**
NRP	**:**	**2410100060**
Jurusan/Fakultas	**:**	**Teknik Fisika/FTI-ITS**
Dosen Pembimbing	**:**	**1. Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT**
		2. Ir. Sarwono, MM

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi pemanfaatan biomassa di Surabaya sebagai pembangkit energi listrik, menentukan teknologi yang digunakan, menghitung kapasitas daya yang bisa dibangkitkan dan melakukan analisis emisi yang bisa diturunkan. Potensi harian biomassa di Surabaya sebesar 1245 ton yang keseluruhan dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit energi listrik dengan melakukan analisis teknik dan ekonomi untuk mengetahui kelayakan pembangkit yang akan diimplementasikan. Potensi tersebut menghasilkan kapasitas daya sebesar 124 MW dengan biaya investasi sebesar Rp 932.000.300.000. Perhitungan Analisis teknik dan ekonomi didapatkan NPV yang bernilai positif, IRR sebesar 47,63% dan PBP pada tahun ke- 3. Pengoperasian PLT Biomassa dapat mereduksi emisi sekitar 687813,12 tCO_2/tahun.

Kata Kunci : Biomassa, Gasifikasi, Investasi, PLT Biomassa

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS TECHNIQUES AND ECONOMIC POTENTIAL OF BIOMASS UTILIZATION OF ELECTRICAL ENERGY GENERATION AS IN SURABAYA

Name of Student	**:**	**Muhyiddin Azmi**
NRP	**:**	**2410100060**
Departement/Faculty	**:**	**Engineering Physics/FTI-ITS**
Supervisor	**:**	**1. Dr. Gunawan Nugroho, ST, MT**
		2. Ir. Sarwono, MM

Abstract

This study was conducted to determine the potential use of biomass in the Surabaya as the generation of electrical energy, determine the technology used, calculate the power capacity that can be raised and analyzing emissions could be lowered. The potential of biomass in the Surabaya daily for the whole 1245 tonnes of fuel used as electrical energy generation by engineering and economic analysis to determine the feasibility of plants that will be implemented. Potential power generating capacity of 124 MW with an investment cost of Rp 932.000.300.000. Analysis of technical and economic calculations obtained NPV is positive, IRR of 47,63% and PBP 3 years. Operation of Biomass PLT can reduce its emissions 687813,12 tCO_2/year.

Keyword : Biomass, Gasification, Investment, PLT Biomass

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala berkat, rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat.

Salah satu tujuan dari disusunnya Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam mencapai jenjang Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Fisika ITS Surabaya.

Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar atas kerja sama dan dukungan berbagai pihak. Sehubungan dengan itu, penulis bermaksud menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan saudara yang senantiasa memberi dukungan moril, materil dan spiritual.
2. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya.
3. Bapak Dr. Gunawan Nugroho ST, MT selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir yang telah membimbing setiap tahapan penelitian
4. Bapak Ir. Sarwono MM selaku dosen Pembimbing II dan selaku kepala laboratorium Energi yang telah meluangkan waktu memberi masukan yang membangun kepada penulis.
5. Bapak Fitriadi Iskandarianto, ST, MT selaku dosen wali selama proses perkuliahan berlangsung.
6. Bapak dan ibu dosen Jurusan Teknik Fisika ITS yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah hingga Tugas Akhir ini.
7. Seluruh staf yang berada di ruang tata usaha jurusan teknik fisika yang telah membantu dalam administrasi perkuliahan.
8. Seluruh kawan angkatan 2010 Teknik Fisika yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

9. Teman seangkatan yang mengambil tugas akhir energi (fahmi, rois, hari, mas mirza, susilo, gege, risky, esti, renda) yang telah memberi bantuan motivasi yang tak terhingga.
10. Teman - teman KSE atas segala keceriaan dan bantuan selama ini.
11. Mutiara Bhakti Pratiwi, yang senantiasa memberi semangat dan dorongan untuk penyelesaian Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	vii
Abstract	ix
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xvii
Daftar Notasi	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Biomassa	5
2.2 Gasifikasi Sebagai Konversi Energi Biomassa	7
2.2.1 Reaktor *Gasifier*	7
2.2.2 Kontribusi Biomassa Terhadap Pemanasan Global	14
2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi	17
2.2.4 Gas Sintesis Hasil Gasifikasi	19
2.2.5 Pembersihan Gas Hasil Gasifikasi	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Perhitungan Potensi Biomassa dan Energi yang dihasilkan	31
3.2 Pementuan Lokasi PLT Biomassa	32
3.3 Analisis Teknik dan Ekonomi	33
3.3.1 Teknik Analisis Konversi Energi Listrik	34
3.3.2 Teknik Analisis *Capital Budgeting*	34
3.4 Perhitungan Potensi Pengurangan CO2	37
3.5 Analisis Sensitivitas	38

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN
4.1 Potensi Bahan Baku untuk Produksi *Syngas* di TPA Benowo Surabaya 39
4.2 Penentuan Lokasi PLT Biomassa 41
4.3 Analisis Teknik dan Ekonomi 43
4.4 Perhitungan Potensi Pengurangan Emisi 48
4.5 Analisis Sensitivitas 49

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan 55
5.2 Saran 55

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN A
LAMPIRAN B
LAMPIRAN C

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konversi Biomassa Menjadi Listrik	7
Gambar 2.2	Skema *Fixed Bed Gasifier*	10
Gambar 2.3	Skema *Fluidized Bed*	11
Gambar 2.4	Skema *Entrained Flow Gasifier*	12
Gambar 2.5	Diagram Alir Proses Gasifikasi	14
Gambar 2.6	Presentasi Skema Gasifikasi sebagai Salah Satu Proses Konversi Termal	20
Gambar 2.7	Teknologi Pembersihan Gas	21
Gambar 2.8	Prinsip Kerja dari *Cyclones* dan *rigid barrier filters*	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Analisis Teknik Ekonomi	35
Gambar 4.1	Lokasi TPA Benowo	42
Gambar 4.2	Komponen Utama PLT Biomassa	43
Gambar 4.3	NPV pada Tahun ke 1 – 15	47
Gambar 4.4	Hubungan Perubahan biaya Investasi Terhadap NPV	50
Gambar 4.5	Hubungan Perubahan Tingkat Bunga Terhadap NPV	52
Gambar 4.6	Hubungan Perubahan Pendapatan Terhadap NPV	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Analisis *Proximate* Biomassa	6
Tabel 2.2	Analisis *Ultimate* Biomassa	6
Tabel 2.3	Perbandingan Berdasarkan Teknologi Gasifikasi Biomassa	13
Tabel 2.4	Hasil Filtrasi Alkali	27
Tabel 2.5	Efisiensi Tar Relatif untuk berbagai jenis *Scrubber*	29
Tabel 2.6	Efisiensi Pemisahan Tar penggunaan *Wet Scrubber* dalam sistem gasifikasi Biomassa	29
Tabel 4.1	Analisis *Proximate* Sampah TPA Benowo	39
Tabel 4.2	Analisis *Ultimate* Sampah TPA Benowo	39
Tabel 4.3	Pendapatan Produk PLT Biomassa	46
Tabel 4.4	Biaya PLT Biomassa	47
Tabel 4.5	*Pay Back Period*	48

DAFTAR NOTASI

LHV	Nilai kalor bahan bakar	(kCal/kg)
tCO_2	Total CO_2	(Kg)
η_{th}	Efisiensi	(%)
Btu	British thermal unit	

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Surabaya merupakan kota metropolitan terbesar setelah Kota Jakarta dengan jumlah penduduk mencapai 3.125.576 jiwa pada tahun 2012 (BPS Kota Surabaya, 2012). Pada rentang sepuluh tahun ini, Kota Surabaya mengalami peningkatan jumlah penduduk sebesar 1,25% akibat laju pertumbuhan ekonomi dikota dan mengalami perubahan gaya hidup karna peningkatan pendapatan. sehingga konsumsi melonjak yang pada akhirnya kondisi sampah di Surabaya meningkat dan menimbulkan masalah lingkungan akibat timbunan sampah yang mengalami dekomposisi dan akan menghasilkan gas metana (CH4) dan gas karbondioksida (CO2) dari proses degradasi sampah organik yang menyebar di udara (BPS Kota surabaya, 2012; DPPK Kota Surabaya, 2010; Cherubini, 2008; Liamsanguan, 2008). Pada tahun 2002 jumlah timbunan sampah di surabaya sebesar 8700 m^3/hari namun pada tahun 2012 jumlah timbunan menjadi 9234,08 m^3/hari atau setara 1864,816 Ton/hari-nya dan akan bertambah seiring pertumbuhan penduduk (DKP Kota Surabaya 2001; DKP Kota Surabaya 2012).

Berdasarkan hal diatas, maka perlu dilakukan pengurangan timbunan sampah melalui pengolahan yang tepat. Pada Undang-Undang no.18 tentang pengelolaan sampah di bagian ke tiga membahas pemanfaatan sampah yang ada dengan digunakan sebagai sumber energi terbarukan (Perpres, 2008). Kepedulian pemerintah dalam mengurangi volume sampah dituangkan dalam bentuk sasaran bauran energi primer nasional 2025 yaitu kebijakan dalam pengurangan konsumsi bahan bakar fosil dan meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) yang menjadi salah satu upaya untuk memenuhi target bauran energi nasional dengan penggalakkan biomassa sebagai sumber energi (Perpres, 2006; Kemenristek, 2006). Kota Surabaya sangat potensial dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga

biomassa karena diperkirakan volume sampah akan meningkat seiring laju pertumbuhan ekonomi (DPPK Kota Surabaya, 2010).

Biomassa di Surabaya yang akan dijadikan sumber energi alternatif merupakan sampah organik di TPA Benowo, hal ini dapat membantu dalam mengurangi permasalahan cadangan minyak sekaligus meningkatkan nilai guna material yang berpotensi menghasilkan nilai ekonomi yang tinggi dari hasil penjualan, walau awalnya membutuhkan investasi yang besar untuk pembangunan infrastruktur namun sangat menguntungkan bagi masa mendatang.

Penelitian ini menggunakan metode gasifikasi. gasifikasi selain menghemat dan mempunyai efisiensi cukup tinggi, metode ini mampu mengekstraksi energi yang dikandung oleh bahan bakar padat secara maksimal. Metode ini dapat menggunakan berbagai macam bahan bakar padat yang mempunyai nilai kalor relatif rendah, kadar air yang cukup tinggi serta polutan berbahaya yang dikeluarkan relatif rendah (Sinarep, 2011). pada metode ini sampah yang telah disolidifikasi dan dikeringkan dimasukkan ke dalam gasifier untuk mengalami proses perubahan menjadi gas tanpa melalui proses pembakaran (*pyrolisis*). Hal ini dimungkinkan karena jumlah udara dalam gasifier diatur sedemikian rupa sehingga tidak sampai terjadi pembakaran. Gasifikasi pada prinsipnya adalah mengkonversi sampah menjadi *syngas* melalui proses pemecahan rantai karbon dari biomassa menjadi gas CO, CO_2, CH_4 dan H_2 (Winaya dkk, 2011). *Syngas* yang keluar dari reaktor kemudian dibersihkan untuk menghilangkan partikulat-partikulat dari reaktor, sulfur, klorida/gas asam (HCl) dan logam berat (Hg). Kemudian *syngas* dikirim ke *gas engine* untuk dijadikan sebagai pembangkit.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah berikut ini adalah pertanyaan penelitian yang diajukan untuk mengarahkan penelitian sebagai berikut:

a. Bagaimana pemanfaat potensi biomassa TPA Benowo yang masih belum dimanfaatkan secara optimal dan ekonomis?

b. Bagaimana teknik sistem konversi energi biomassa yang dapat diterapkan untuk mengurangi dampak negatif sampah organik pada lingkungan?
c. Bagaimana manfaat ekonomi sistem konversi energi Biomassa sebagai pembangkit listrik?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari penelitian, maka perlu diberikan beberapa batasan permasalahan dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

a. Biomassa yang digunakan adalah sampah organik
b. Analisis ketersediaan sampah organik di TPA Benowo Surabaya
c. Pembahasan dari sisi teknis hanya menjelaskan mengenai prinsip kerja secara umum dari penggunaan sampah organik sebagai pembangkit energi listrik serta faktor-faktor yang mempengaruhi dan sedikit membahas mengenai dampak lingkungan akibat penggunaan sampah organik.
d. Pembahasan teknis hanya di proses pembangkit listrik dengan gasifikasi.
e. Pembahasan dari sisi ekonomi hanya mempertimbangkan kelayakan investasi penggunaan sampah organik.

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini adalah:

a. Melakukan analisis pemanfaatan potensi biomassa TPA Benowo sebagai pembangkit energi listrik secara optimal
b. Melakukan perancangan teknik sistem konversi energi biomassa yang dapat diterapkan untuk mengurangi dampak negatif biomassa pada lingkungan
c. Melakukan analisis ekonomi sistem konversi energi biomassa sebagai pembangkit listrik

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa

Biomassa menurut Korhalliler (2010) adalah "segala material biologis, yang berasal dari tanaman atau hewan, yang bisa digunakan untuk memproduksi panas dan/atau tenaga, bahan bakar termasuk bahan bakar transportasi, atau sebagai pengganti produk dan material berbasis fosil". Biomassa umumnya mempunyai kadar volatile relatif tinggi, dengan kadar karbon tetap yang rendah dan kadar abu lebih rendah dibandingkan batubara. Biomass juga memiliki kadar volatil yang tinggi (sekitar 60-80%) dibanding kadar volatile batubara, sehingga biomassa lebih reaktif dibanding batubara (putri, 2009).

Di alam bebas, biomassa yang dibiarkan begitu saja di tanah atau utamanya pada pembuangan sampah terbuka (open dumping) di TPA (Tempat Pembuangan Akhir) akan diuraikan oleh mikroorganisme dan menghasilkan kembali karbondioksida. Demikian pula pembakaran biomassa di rumah tangga, proses industri, aktivitas pembangkitan energi, ataupun transportasi akan mengembalikan CO_2 yang tersimpan dalam biomassa tersebut ke atmosfir. timbunan sampah yang mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas-gas yang menyebar di udara, yang mana gas yang paling banyak dihasilkan dari proses degradasi sampah organik yaitu gas metana (CH_4) dan gas karbondioksida (CO_2) (Cherubini, 2008; Liamsanguan, 2008). CH_4 (methane) merupakan penyumbang gas rumah kaca. Gas CH_4 memiliki potensi merusak 20 kali lebih besar dari gas CO_2 (Sudarman. 2010).

Biomassa (bahan organik) dapat digunakan untuk menyediakan panas, membuat bahan bakar, dan membangkitkan listrik. Ini disebut bioenergi. Potensi dari pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi dapat mereduksi efek *global warming*. Meskipun karbon dioksida yang dihasilkan oleh biomassa jumlahnya besar atau hampir sama dengan karbon dioksida yang dihasilkan oleh bahan bakar lain seperti minyak ataupun batubara,

namun karbon dioksida yang dihasilkan biomassa dapat dikonsumsi untuk pertumbuhan tanaman baru. Sehingga karbon dioksida yang dilepas biomassa ke lingkungan dapat diasumsikan tidak ada sama sekali (Putri, 2009).

Terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan sebagai bahan pertimbangan dalam penggunaan biomassa. Didalam biomassa mempunyai rantai suplai biomassa yaitu aspek nilai kalori dan kandungan biomassa tersebut (*moisture content, ash content, volatile matter*, unsur klorin, dan sebagainnya).

Adapun analisis proximate dan ultimate untuk jenis Biomassa yang diperoleh dari literatur, dapat dilihat pada tabel 2.1 dan tabel 2.2.

Tabel 2.1 Analisis *Proximate* Biomassa (Purwanto, 2010)

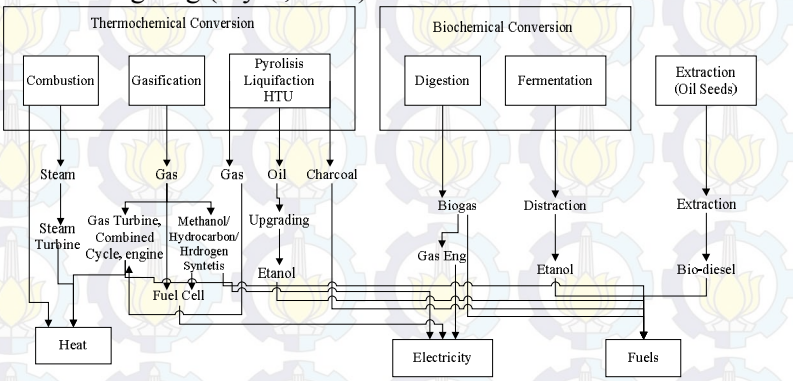
Biomass	***Moisture Content***	***Ash Content***	***Volatil Matter***	***Fixed Carbon***
	% adb			
Straw	11.98	17.42	56.48	14.12
Rice Husk	7.78	21.84	57.05	13.33
Kamper Wood	15.52	1.21	68.22	15.05
Rubber Wood	10.85	4.29	69.76	15.1
Coconut Wood	10.27	3.27	62.64	23.82
EFB	10.45	3.43	68.67	17.45
Bagasse	8.76	1.34	75.94	13.96

Tabel 2.2 Analisis *Ultimate* Biomassa (Purwanto, 2010)

Biomass	**C**	**H**	**N**	**S**	**O**
	% adb				
Straw	36.48	4.7	0.61	0.09	40.7
Rice Husk	35.18	4.46	0.15	0.01	38.36
Kamper Wood	45.67	5.74	0.12	*Trace*	47.26
Rubber Wood	45.62	5.57	0.72	0.04	43.76
Coconut Wood	46.87	5.77	0.04	0.08	43.97
EFB	44.06	6.06	0.29	0.11	46.05
Bagasse	46.1	6.1	0.11	0.17	46.18

2.2 Gasifikasi Sebagai Konversi Energi Biomassa

Gasifikasi adalah proses termo-kimia yang mengubah biomassa melalui oksidasi parsial menjadi *syngas mixture of gas* yang terdiri dari hidrogen (H_2), karbon monoksida (CO), metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) yang mana proses ini merupakan salah satu proses pengubahan bertahap dari bahan bakar padat dengan ketersediaan oksigen yang terbatas sehingga gas yang dihasilkan masih berpotensi untuk terbakar, dimana hampir semua bahan organik dari biomassa diubah menjadi gas bakar yang bersih dan netral (L. Wang dkk, 2008; mastok, 2012). Proses koversi terjadi dalam *gasifier* dengan menyuplai agen gasifikasi seperti uap panas, udara dan lainnya. Metode gasifikasi ini dinilai lebih menguntungkan seperti menghemat biaya sekitar 8% dan juga menghemat bahan bakar sekitar 12% dibandingkan dibakar langsung (Jayah, 2003).



Gambar 2.1 Konversi Biomassa Menjadi Listrik (Faaij, 2006)

Gasifikasi merupakan salah satu alternatif teknologi pengolahan sampah secara termal. *Energy recovery* dan reduksi potensi emisi ke lingkungan merupakan prinsip teknologi gasifikasi (Belgiorno dkk, 2003).

2.2.1 Reaktor *Gasifier*

Reaktor berfungsi sebagai tungku tempat berlangsungnya proses gasifikasi dan dikenal dengan nama *gasifier*. Ketika gasifikasi dilangsungkan, terjadi kontak antara bahan bakar

dengan medium penggasifikasi di dalam *gasifier*. Kontak antara bahan bakar dengan medium tersebut menentukan jenis *gasifier* yang digunakan.

Gasifier berdasarkan jenis fluidanya, dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu mode gasifikasi unggun tetap *(fixed bed gasification)*, mode gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification),* mode gasifikasi *entrained flow* (Akudo, 2008). Untuk selanjutnya akan dijelaskan lebih rinci mengenai 3 jenis *gasifier* yang sudah disebutkan diatas:

1. *Fixed Bed Gasifier*

Fixed Bed Gasifier merupakan jenis *gasifier* yang memiliki garangan (*grate*) yang dikonstruksikan untuk menopang bahan bakar dan mempertahankan unggun bahan bakar dalam keadaan tetap atau tidak bergerak seperti fluida. Jenis *gasifier* ini relatif mudah didesain dan dioperasikan, namun memiliki kapasitas terbatas. Oleh karena itu, *fixed bed* gasifier lebih banyak digunakan untuk aplikasi skala kecil hingga sedang, dimana kalor yang diperlukan mencapai 1 MW (Akudo, 2008). Berdasarkan arah aliran, *fixed bed gasifier* dapat dibedakan menjadi 3, yaitu reaktor aliran searah *(downdraft gasifier),* reaktor aliran berlawanan *(updraft gasifier)* dan reaktor aliran menyilang *(crossdraft gasifier)*. Secara lebih detail bisa dilihat dibagian bawah:

a. *Up Draft Gasifier*

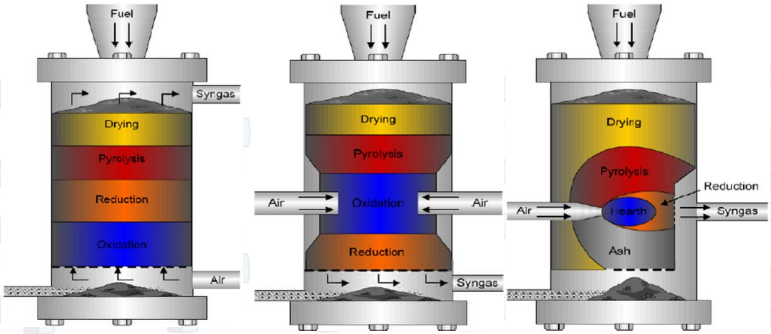
Gas produser gasifikasi updraft relatif dingin dengan suhu stopkontak biasanya antara 200 dan 300 ° C (Fahimah, 2004). suhu gas produser dari 75 °C dilaporkan. Efisiensi gas dingin termasuk semua spesies yang mudah terbakar dalam gas produser bisa mencapai nilai lebih dari 90% sebagai akibat dari kandungan panas yang masuk akal rendah produsen gas (Cherubini dkk, 2008). Karena penggunaan udara sebagai agen gasifikasi, nilai pemanasan gas produser gasifikasi updraft rendah di kisaran 5 MJ/mn3 pada secara bebas kering dan tar (dtf) (Morf, 2001 dalam Zurich, 2008).

b. *Down Draft Gasifier*

Pada *Down Draft Gasifier*, udara disuplai dari atas secara terus menerus dan bergerak mengalir ke bawah sehingga membawa gas yang keluar untuk ikut mengalir ke bawah menuju zona gasifikasi *hot-char*, menyalakan api, dan membakar tar. Dengan demikian, emisi yang dihasilkan sangat bersih. Sementara itu, bahan bakar juga bergerak ke bawah, seperti gas pirolisis, sehingga dikenal dengan Co-current gasifier. Meskipun begitu, jenis gasifier ini memeliki efisieni keseluruhan rendah serta penanganan yang sulit untuk biomassa dengan moisture content dan kandungan abu yang tinggi dari pada *up draft gasifier*. Pada jenis gasifier ini juga amatlah penting untuk memperhatikan distribusi suhu tinggi yang merata diseluruh area dalam reactor gasifikasi. Oleh karena itu, *down draft gasifier* terbatas hanya untuk *range* daya kurang dari 1 MW (Akudo, 2008; Belonio, 2005). Gas produser gasifikasi *downdraft* biasanya memiliki suhu antara 500 dan 900 ° C (Vogel dkk, 2006 dalam Zurich, 2008), dan menurut nilai-nilai efisiensi gas dingin 70 sampai 80% (Nussbaumer, 2004 dalam Zurich, 2008). Serupa dengan gasifikasi updraft, nilai pemanasan gas produser downdraft rendah di kisaran 5 MJ/mn^3 (Morf, 2001 dalam Zurich, 2008). Karena ke reaktor tar internal yang retak, beban tar rendah dengan nilai maksimum dari 6 g/Mn^3 (dtf) (Nussbaumer, 2004 dalam Zurich, 2008).

c. *Cross Draft Gasifier*

Pada jenis gasifier ini, udara mengalir dari samping reaktor gasifikasi dan bergerak melewati bahan bakar bersama dengan gas pirolisis yang dihasilkan. Zona pembakaran menyilang dalam reaktor dan berada dalam arah menuju keluaran gas. Jenis gasifier ini dioperasikan secara kontinu dengan penyalaan awal bahan bakar dapat dimodifikasi untuk meminimasi asap yang dihasilkan (Belonio, 2005).

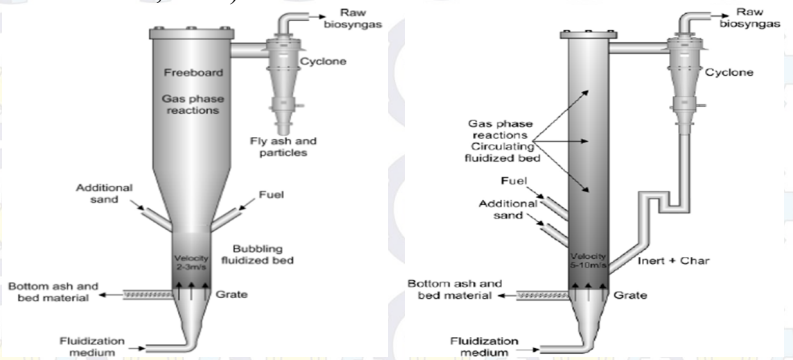


Gambar 2.2 Skema *Fixed Bed Gasifier* (a) *Up Draft Gasifier,* (b) *Down Draft Gasifier*, (c) *Cross Draft Gasifier* (Hulteberg, 2010)

2. *Fluidized bed gasifier*

Fluidized bed gasifier dikembangkan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada *fixed bed gasifier*. Jenis *gasifier* ini cocok untuk kapasitas besar, seperti untuk keperluan institusi atau skala industri, dimana biaya yang diperlukan untuk peralatan ini sudah ditetapkan. Pada jenis gasifier ini, bahan bakar mengalami pergerakan dalam reaktor. Oleh karena itu, diperlukan kipas (fan) bertekanan tinggi untuk mendorong pergerakan partikel bahan bakar tersebut. bahan bakar dimasukkan kedalam reaktor gasifikasi dan bercampur dengan cepat bersama material unggun dalam reaktor yang mengalir seperti fluida. Dengan karakteristik turbulensi yang tinggi, pirolisis terjadi dengan cepat dan menghasilkan gas pirolisis dalam jumlah banyak. Kekurangan dari jenis gasifier ini adalah menghasilkan kandungan tar yang tinggi, pembakaran karbon yang tidak sempurna, dan permasalahan dalam pengisian bahan bakar (Akudo, 2008; Belonio, 2005). *Circulating Fluidized Bed* hampir sama property sebagai mitra diam mereka, kecuali bahwa kecepatan aliran yang jauh lebih tinggi. Akibatnya pencampuran bahan tempat tidur dan kayu partikel lebih baik yang menghasilkan kondisi sepenuhnya isotermal. Selain itu, *fluidized*

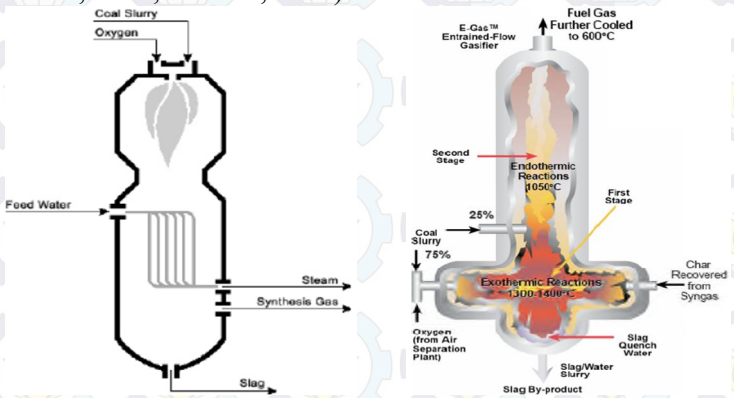
bed materi dan char bereaksi terus keluar dari gasifikasi zona. Dalam beredar reaktor *fluidized bed* standar, habis Bahan tidur dan char diperkenalkan kembali ke zona gasifikasi di mana panas yang dibutuhkan untuk reaksi gasifikasi dihasilkan melalui pembakaran langsung *parsial feed*. Dua zona beredar *fluidized bed* Namun reaktor menggunakan mekanisme debit untuk pemisahan spasial gasifikasi dan pembakaran reaksi. Dengan cara ini, udara dapat digunakan sebagai oksidan di zona pembakaran dan uap sebagai agen gasifikasi di zona gasifikasi menghasilkan gas produk non-diencerkan. Panas untuk Reaksi gasifikasi diangkut dari zona pembakaran ke zona gasifikasi melalui material bed beredar. Gas produser dari beredar reaktor *fluidized bed* memiliki dasarnya sifat yang sama dengan reaktor *fluidized bed* stasioner. Pengecualian adalah nilai-nilai pemanasan yang lebih tinggi dari konsep dua zona sekitar 14,2 untuk 18,1 MJ/mn^3 (dtf) (Nussbaumer, 2004 dalam Zurich, 2008), dan beban tar biasanya lebih rendah dalam urutan dari 1 sampai 20 g/mn^3 (Vogel dkk, 2006 dalam Zurich, 2008). Hal ini dapat ditugaskan ke reaktif sering digunakan Bahan tidur seperti olivin (Rauch dkk, 2004 dalam Zurich, 2008). Ukuran reaktor yang wajar adalah antara 20 sampai 200 MW masukan termal (Nussbaumer, 2004 dalam Zurich, 2008).



Gambar 2.3 Skema *Fluidized Bed Gasifier* (a) *Bubbling Fluidized Bed* dan (b) *Circulating Fluidized Bed* (Hulteberg, 2010)

3. *Entrained Flow Gasifier*

Entrained Flow Gasifier pada awalnya dikembangkan untuk gasifikasi batubara yang diumpankan ke reaktor baik sebagai bubuk kering atau bubur air. Oksigen umumnya digunakan sebagai agen gasifikasi menghasilkan sangat tinggi suhu reaktor antara 1250 - 2000 °C. Konversi kayu untuk bubuk atau bubur membutuhkan usaha lebih dari penggilingan sederhana batubara. Entrained gasifiers kayu aliran karenanya biasanya dikombinasikan dengan reaktor pirolisis di mana sub-proses "pengeringan" dan "devolatilization" berlangsung pada suhu sekitar 600 °C. Panas yang dibutuhkan untuk proses pirolisis baik dapat berasal dari gas buang atau diproduksi melalui pembakaran parsial feed. Reaktor pirolisis kemudian di Bahkan reaktor pra-gasifikasi. The sub-proses "oksidasi" dan "reduksi" terjadi pada reaktor aliran gasifikasi entrained yang sebenarnya. Sebagai pirolisis menghasilkan campuran gas, cair dan padat produk komposisi yang dapat dikontrol melalui kondisi proses pirolisis, bentuk pakan tergantung pada aliran desain *gasifier entrained* dan dapat berupa gas/padat atau cairan/campuran padat. *Entrained* gas produser aliran gasifikasi memiliki suhu antara 800 dan 1200°C, (Akudo, 2008; Belonio, 2005).



Gambar 2.4 Skema *Entrained Flow Gasifiers*, (a) *Downstream Gasifier* dan (b) *Upstream Gasifier* (Hulteberg, 2010)

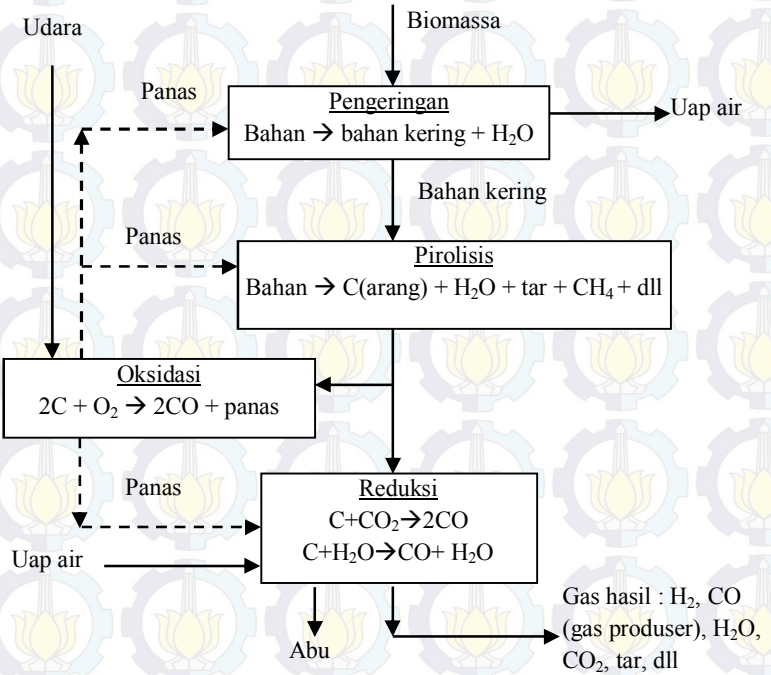
Perbandingan teknologi gasifikasi dapat dilihat di tabel 2.3. perbandingan berdasarkan agen gasifikasi, LHV, kandungan kimia serta kapasitas reaktor.

Table 2.3 Perbandingan Berdasarkan Teknologi Gasifikasi Biomassa (Zurich, 2008)

	Unit	Updraft	Down-draft	Fluidbed	Circul. FB	Entrained flow
Gasification agent	[-]	Air	Air	Air/O_2/ H_2O	H_2O	O_2
H_2	[mol-%]	10-14	15-21	15-22	17-36	29-40
CO		15-20	10-22	13-15	36-51	39-45
CO_2		8-10	11-13	13-15	7-15	18-20
CH_4		2-3	1-5	2-4	0,1-0,6	0,05-0,1
C_2		-	0.5-2	-	1,4-7,5	-
N_2		53-65	37-63	44-57	0-39	0,1-9
LHV	[MJ/m_n^3 (dtf)]	3,7-5,1	4,0-5,6	3,6-5,9	14,2-18,1	8,8-9,3
Gas Temp.	[°C]	75-300	500-9000	800-950	800-950	800-1000
Cold gas eff.	[%]	>90 inch tar	65-75	70-85	60-70	50-70
Particle load	[g/m_n^3 (dtf)]	0,1-3	0,02-8	20-100	8-100	-
Tar load		10-150	0,01-6	2-50	1-20	0
Tar Sign.	[-]	Mostly oxygen-ated	Aromatic	Oxygen-ateol and aromatic	Oxygen-ateol and aromatic	None
Alkali Phase		Solid	Liquid	Liquid	Liquid	Liquid/ gaseous
Sulfur Signature		Partially organic	Mainly inorganic	Partially organic	Partially organic	Inorganic
Feed Size & Geometry		Non sensitive	Homogen-eous	Homogey-eous	Homoge-neous	Suspension
Feed Humidity		<50%	<20 %	<15%	<15%	-
Process robustness		Stable	Sensitive, bridge building	Stable	Stable	Sensitive, slagging
Reaktor Size	[MW_{th}]	0,1-20	0,1-2	1-50	20-200	30-600

2.2.2 Tahapan Proses Gasifikasi

Gasifikasi terdiri dari empat tahapan terpisah: pengeringan, pirolisis, oksidasi/pembakaran dan reduksi. Keempat tahapan ini terjadi secara alamiah dalam proses pembakaran. Lebih lengkapnya akan dijelaskan dibawah:



Gambar 2.5 Diagram alir proses gasifikasi

1. Proses *Drying*

Proses *drying* dilakukan untuk mengurangi kadar air (moisture) yang terkandung di dalam biomass bahkan sebisa mungkin kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100 sampai 300º C.

Kadar air pada biomass dihilangkan melalui proses konveksi karena pada reaktor terjadi pemanasan dan udara yang bergerak memiliki *humidity* yang relatif rendah sehingga dapat mengeluarkan kandungan air biomassa. Semakin tinggi

temperatur pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung di dalam biomass sehingga proses *drying* akan berlangsung lebih cepat. Reaksi oksidasi, yang terdapat beberapa tingkat di bawah zona *drying*, yang bersifat eksoterm menghasilkan energi panas yang cukup besar dan menyebar ke seluruh bagian reaktor. Disamping itu kecepatan gerak media pengering turut mempengaruhi proses *drying* yang terjadi.

2. Proses Pirolisis

Proses pirolisis merupakan proses yang rumit sehingga pengertian sesungguhnya masih belum dapat dimengerti. Namun secara harafiah pirolisis merupakan proses pembakaran tanpa melibatkan oksigen. Produk yang dihasilkan oleh proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti temperatur, tekanan, waktu, dan *heat losses*. Pada zona ini biomass mulai bereaksi dan membentuk tar dan senyawa gas yang *flammable*.

Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi laju pemanasan selama pirolisis berlangsung. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 300 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pada biomassa dan *volatile matters* pada batubara, pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Produk pirolisis biasanya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2, CO, CO_2, H_2O, dan CH_4), tar, dan arang. Secara umum reaksi yang terjadi pada pirolisis beserta produknya adalah:

biomass _ char + tar + gases (CO_2; CO; H_2O; H_2; CH_4; C_xH_y)

3. Proses Oksidasi

Proses oksidasi adalah proses yang menghasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon di bawah. Proses ini terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya lebih dari 900º C. Pada temperatur setinggi ini pada gasifier *downdraft*, akan memecah substansi tar sehingga kandungan tar yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah sebagai berikut (Ciferno dkk, 2002; Chopra dkk, 2007; Stassen dkk, 1995):

$$C + O_2 = CO_2 + 406 \text{ (MJ/kmol)}$$
$$H_2 + ½\ O_2 = H_2O + 242 \text{ (MJ/kmol)}$$

Proses ini dipengaruhi oleh distribusi oksigen pada area terjadinya oksidasi karena adanya oksigen inilah dapat terjadi reaksi eksoterm yang akan menghasilkan panas yang dibutuhkan dalam keseluruhan proses gasifikasi ini. Distribusi oksigen yang merata akan menyempurnakan proses oksidasi sehingga dihasilkan temperatur maksimal. Pada daerah pembakaran ini, sekitar 20% arang bersama volatil akan meselanjutngalami oksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dengan memanfaatkan oksigen terbatas yang disuplaikan ke dalam reaktor (hanya 20% dari keseluruhan udara yang digunakan dalam pembakaran dalam reaktor). Sisa 80% dari arang turun ke bawah membentuk lapisan reduction dimana di bagian ini hamper seluruh karbon akan digunakan dan abu yang terbentuk akan menuju tempat penampungan abu.

Proses ini dipengaruhi oleh distribusi oksigen pada area terjadinya oksidasi karena adanya oksigen inilah dapat terjadi reaksi eksoterm yang akan menghasilkan panas yang dibutuhkan dalam keseluruhan proses gasifikasi ini. Distribusi oksigen yang merata akan menyempurnakan proses oksidasi sehingga dihasilkan temperatur maksimal. Pada daerah pembakaran ini, sekitar 20% arang bersama volatil akan mengalami oksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dengan memanfaatkan oksigen terbatas yang disuplaikan ke dalam reaktor (hanya 20% dari keseluruhan udara yang digunakan dalam pembakaran dalam reaktor). Sisa 80% dari arang turun ke bawah membentuk lapisan reduction dimana di bagian ini hamper seluruh karbon akan digunakan dan abu yang terbentuk akan menuju tempat penampungan abu.

4. Proses Reduksi

Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm), yang mana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Di antaranya adalah *Bourdouar reaction*, *steam-carbon reaction*, *water-gas shift reaction*, dan *CO methanation* yang merupakan proses penting terbentuknya senyawa – senyawa yang berguna

untuk menghasilkan *flammable gas*, seperti hidrogen dan karbon monoksida. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 400 – 900 ºC. Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi pada zona tersebut (Ciferno dkk, 2002; Chopra dkk, 2007; Stassen dkk, 1995):

Bourdouar reaction:

$$C + CO_2 = 2\ CO - 172\ (MJ/kmol)$$

Steam-carbon reaction :

$$C + H_2O = CO + H2 - 131\ (MJ/kmol)$$

Water-gas shift reaction:

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 + 41\ (MJ/kmol)$$

CO methanation :

$$CO + 3\ H_2 - 206\ (MJ/kmol) = CH_4 + H_2O$$

Dapat dikatakan bahwa pada proses reduksi ini gas yang dapat terbakar seperti senyawa CO, H_2 dan CH_4 mulai terbentuk. Sehingga pada bagian ini disebut sebagai *producer gas*.

2.2.3 Faktor yang Mempengaruhi Proses Gasifikasi

Proses gasifikasi memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses dan kandungan *syngas* yang dihasilkkannya. Faktor - faktor tersebut adalah :

1. Properties Biomass

Apabila ada anggapan bahwa semua jenis biomass dapat dijadikan bahan baku gasifikasi, anggapan tersebut merupakan hal yang naïf. Namun, kenyataanya tidak semua biomassa dapat dikonversikan dengan proses gasifikasi karena ada beberapa klarifikasi dalam mendefinisikan bahan baku yang dipakai pada sistem gasifikasi berdasarkan kandungan dan sifat yang dimilikinya. Pendefinisian bahan baku gasifikasi ini dimaksudkan untuk membedakan antara bahan baku yang baik dan yang kurang baik. Adapun beberapa parameter yang dipakai untuk mengklarifikasikannya yaitu:

a. Kandungan energi

Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki biomassa maka *syngas* hasil gasifikasi biomass tersebut semakin tinggi karena energi yang dapat dikonversi juga semakin tinggi.

b. Moisture

Bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan bermoistur rendah. Karena kandungan moisture yang tinggi menyebabkan *heat loss* yang berlebihan. Selain itu kandungan moisture yang tinggi juga menyebabkan beban pendinginan semakin tinggi karena *pressure drop* yang terjadi meningkat. Idealnya kandungan *moisture* yang sesuai untuk bahan baku gasifikasi kurang dari 20 %.

c. Debu

Semua bahan baku gasifikasi menghasilkan *dust* (debu). Adanya dust ini sangat mengganggu karena berpotensi menyumbat saluran sehingga membutuhkan *maintenance* lebih. Desain *gasifier* yang baik setidaknya menghasilkan kandungan dust yang tidak lebih dari 2 – 6 g/m³.

d. Tar

Tar merupakan salah satu kandungan yang paling merugikan dan harus dihindari karena sifatnya yang korosif. Sesungguhnya tar adalah cairan hitam kental yang terbentuk dari destilasi destruktif pada material organik. Selain itu, tar memiliki bau yang tajam dan dapat mengganggu pernapasan. Pada reaktor gasifikasi terbentuknya tar, yang memiliki bentuk *approximate atomic* CH1.2O0.5, terjadi pada temperatur pirolisis yang kemudian terkondensasi dalam bentuk asap, namun pada beberapa kejadian tar dapat berupa zat cair pada temperatur yang lebih rendah. Apabila hasil gas yang mengandung tar relatif tinggi dipakai pada kendaraan bermotor, dapat menimbulkan deposit pada karburator dan *intake valve* sehingga menyebabkan gangguan. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan tar tidak lebih dari 1 g/m³.

2. Desain Reaktor

Terdapat berbagai macam bentuk gasifier yang pernah dibuat untuk proses gasifikasi. Untuk *gasifier* bertipe imbert yang memiliki neck di dalam reaktornya, ukuran dan dimensi neck amat mempengaruhi proses pirolisis, percampuran, *heatloss* dan nantinya akan mempengaruhi kandungan gas yang dihasilkannya.

3. Jenis Agen Gasifikasi

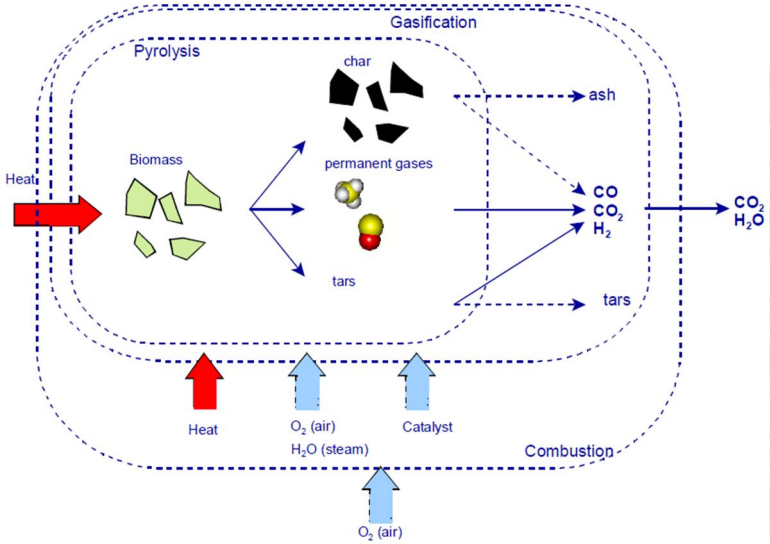
Jenis gasifying agent yang digunakan dalam gasifikasi umumnya adalah udara dan kombinasi oksigen dan uap. Penggunaan jenis *gasifying agent* mempengaruhi kandungan gas yang dimiliki oleh *syngas*. perbedaan kandungan *syngas* yang mencolok terlihat pada kandungan nitrogen pada *syngas* dan mempengaruhi besar nilai kalor yang dikandungnya. Penggunaan udara bebas menghasilkan senyawa nitrogen yang pekat di dalam *syngas*, berlawanan dengan penggunaan oksigen/uap yang memiliki kandungan nitrogen yang relatif sedikit. Sehingga penggunaan *gasifying agent* oksigen/uap memiliki nilai kalor *syngas* yang lebih baik dibandingkan *gasifying agent* udara.

4. Rasio Bahan Bakar dan Udara

Perbandingan bahan bakar dan udara dalam proses gasifikasi mempengaruhi reaksi yang terjadi dan tentu saja pada kandungan *syngas* yang dihasilkan. Kebutuhan udara pada proses gasifikasi berada di antara batas konversi energi pirolisis dan pembakaran. Karena itu dibutuhkan rasio yang tepat jika menginginkan hasil syngas yang maksimal. Pada gasifikasi biomass rasio yang tepat untuk proses gasifikasi berkisar pada angka 1,25 - 1,5.

2.2.4 Gas Sintesis Hasil Gasifikasi

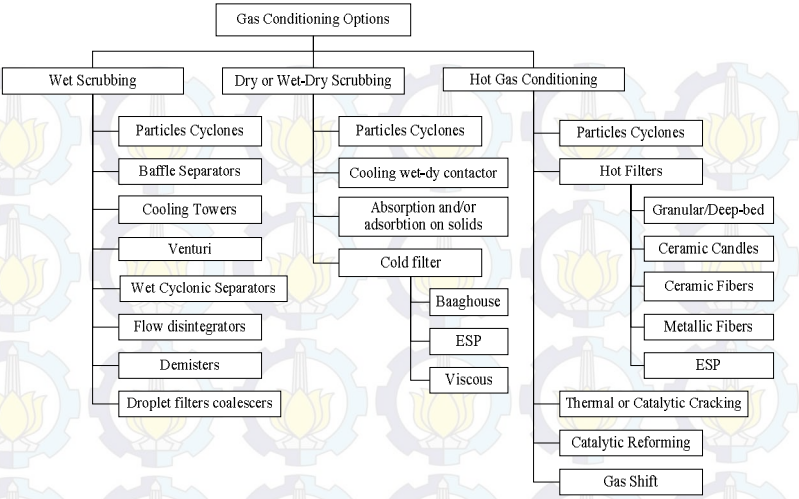
Gas sintesis yang dihasilkan dari gasifikasi biomassa memiliki kandungan utama H_2, CO, CO_2, dan CH_4. Komposisi gas - gas tersebut di dalam gas sintesis dapat disesuaikan dengan kebutuhan proses menggunakan proses reformasi metana (mengkonversikan CH_4 menggunakan kukus menjadi CO dan H2), reaksi pergeseran (menyesuaikan rasio H_2/CO dengan mengkonversikan CO menggunakan kukus menjadi H_2 dan CO_2), dan penghilangan CO_2 yang dapat mengurangi komposisi gas - gas inert yang akan masuk ke dalam proses.



Gambar 2.6 Presentasi Skema Gasifikasi Sebagai Salah Satu Proses Konversi Termal (Swaaij dkk, 2002)

2.2.5 Pembersihan Gas Hasil Gasifikasi

Gas sintesis yang dihasilkan dari proses gasifikasi mengandung berbagai kontaminan seperti partikulat, tar yang mudah terkondensasi, senyawa alkali, H_2S, HCl, NH_3, dan HCN. Kontaminan-kontaminan tersebut dapat menurunkan aktivitas akibat peracunan katalis. Sulfur merupakan racun katalis Co dan Fe (juga merupakan racun bagi katalis reaksi pergeseran dan reformasi), karena dapat menutupi area aktif katalis. Toleransi terhadap kontaminan tersebut sangat rendah, sehingga diperlukan proses pembersihan yang lebih mendalam. Skema teknologi berbagai strategi pembersihan gas hasil gasifikasi dan teknologi yang sudah dikembangkan baik secara komersial maupun dalam tahap demonstrasi diberikan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Teknologi Pembersihan Gas (Milne dan Evans, 1998)

1. Teknologi Pemisahan Partikulat

Kebutuhan proses pemisahan partikulat sangat bervariasi, bergantung pada penggunaan produk gas selanjutnya. Sebagai ilustrasi, kandungan partikulat harus dikurangi hingga di bawah 50 mg/Nm^3 apabila ingin digunakan dalam *gas engine*, di bawah 15 mg/Nm^3 (>5m) untuk turbin, dan sekitar 0,02 mg/Nm^3 untuk gas sintesis. Jenis-jenis teknologi yang umum digunakan untuk pemisahan partikulat antara lain: *cyclonic filter, barrier filter, electrostatic filter,* dan *wet scrubber*. Penjelasan untuk masing-masing teknologi akan disampaikan pada sub bab selanjutnya.

a. *Cyclonic Filter*

Cyclonic Filter merupakan unit utama yang digunakan untuk menghilangkan partikulat curah dari aliran gas. Siklon ini menggunakan gaya sentrifugal untuk memisahkan padatan dari gas dengan mengarahkan aliran gas menuju jalur melingkar. Karena pengaruh gaya inersia, partikulat tidak akan mampu mengikuti jalur tersebut sehingga akan terpisahkan dari aliran gas. Meskipun secara fisik pemisahan partikulat cukup kompleks,

filter siklon dengan kinerja yang sudah diprediksikan sebelumnya dapat dirancang menggunakan teknologi teoritis dan empiris yang sudah dikembangkan selama ini. Filter siklon (seringkali dirancang sebagai tube berbentuk U) umumnya digunakan sebagai langkah pembersihan gas yang paling pertama di sebagian besar sistem gasifikasi karena unit ini dipandang cukup efektif dan relatif murah untuk dibangun dan dioperasikan. Di dalam gasifier unggun terfluidakan ataupun *entrained bed*, sikon merupakan bagian terintegrasi dalam perancangan reaktor yang digunakan untuk memisahkan material unggun dan partikulat lainnya dari aliran gas. Filter partikulat efektif untuk memisahkan partikel yang ukurannya lebih besar dan dapat dioperasikan pada rentang temperatur yang cukup besar. Batasan utamanya hanya pada segi bahan konstruksi. Filter siklon, seringkali dirancang dalam bentuk beberapa unit yang dipasang seri (*multi-clones*), dapat memisahkan >90% partikulat berdiameter 5 m dengan penurunan tekanan minimum 0,01 atm. Pemisahan partikulat dengan diameter 1-5 m secara parsial juga masih memungkinkan, namun filter siklon menjadi tidak efektif untuk memisahkan partikel *sub-micron*. Karena filter siklon dapat dioperasikan pada temperatur tinggi, panas sensible dalam produk gas dapat dipertahankan. Filter siklon juga dapat memisahkan tar yang terkondensasi danmaterial alkali dari aliran gas, namun bentuk uap dari kedua jenis kontaminan tersebut masih akan terbawa oleh aliran gas. Dalam praktiknya, pemisahan sejumlah tar secara signifikan dapat dilakukan secara sekuensial dengan cara memisahkan partikulat pada temperatur yang lebih tinggi sehingga tar akan tetap berada pada fasa gas. Aliran gas kemudian didinginkan dan tar yang terkondensasi kemudian dipisahkan. Cara tersebut dapat mengurangi kecenderungan menempelnya partikulat di permukaan terlapisi tar yang dapat menyebabkan penyumbatan. Filter siklon sangat sering digunakan dalam berbagai proses dan tersedia secara komersial dari berbagai vendor. Teknologi filter siklon merupakan teknologi yang sudah matang dan pengembangannya di masa depan dapat dikatakan tidak akan terlalu signifikan.

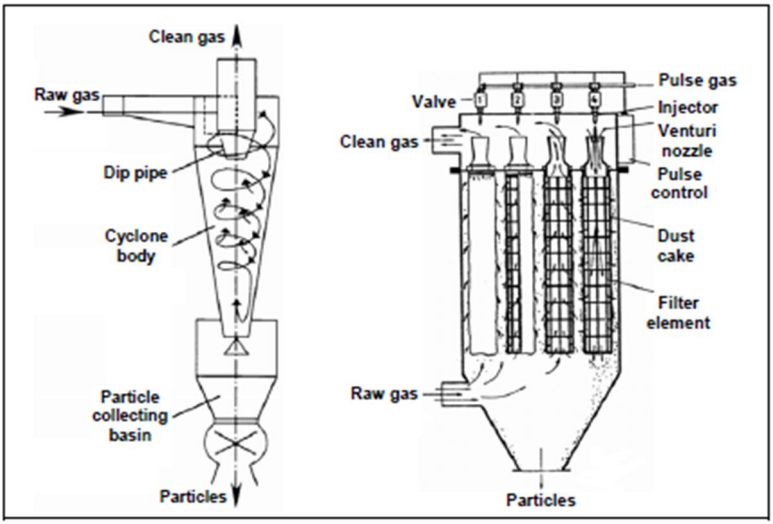
b. *Barrier Filter*

Barrier filter terdiri atas material berpori yang dapat dilewati aliran gas namun tidak dapat dilewati oleh partikulat. Filter jenis ini dapat memisahkan partikulat berdiameter kecil dalam rentang 0,5-100 m. *Barrier filter* dapat dirancang untuk memisahkan hampir semua ukuran partikulat, termasuk rentang *sub-micron*, namun penurunan tekanan di sepanjang filter akan meningkat seiring dengan penurunan ukuran pori. Sehingga terdapat hambatan teknik dan ekonomi dalam penggunaan sistem tersebut untuk pemisahan partikel dengan ukuran di bawah 0,5 m. *Barrier filter* dibersihkan dengan cara melewatkan *pulse* gas bersih secara periodik melewati filter dengan arah yang berlawanan dengan aliran gas normal. Untuk mengurangi beban partikulat secara keseluruhan, filter tersebut ditempatkan setelah filter siklon. *Barrier filter* sangat efektif untuk memisahkan partikulat kering namun kurang cocok untuk kontaminan yang basah dan lengket seperti tar. Tar dapat menempel di permukaan filter hingga terjadi reaksi karbonisasi yang menyebabkan pengerakan dan penyumbatan. Jenis *barrier filter* yang cocok untuk digunakan dalam sistem biomassa antara lain:

- ***Bag filters***
  terutama menggunakan efek filtrasi kue debu disimpan. selain pembilasan kebalikan dari elemen filter, kue debu dapat dihapus dengan gemetar. Suhu maksimum operasional berada di bawah 250 ° C, yang dapat diterima dalam sistem di mana gas produser harus didinginkan untuk penggunaan akhir perangkat seperti mesin gas. The ter biasanya hadir dalam gas produser mulai kondensasi pada suhu di bawah 400 ° C dan dapat menyebabkan masalah serius jamming. Untuk alasan ini, filter bag jarang untuk penyaringan gas produser. Namun, bahan precoat baru-baru ini menunjukkan untuk mencegah kemacetan, sehingga memungkinkan penerapan filter bag untuk penyaringan gas produser.
- ***Packed bed filters***
  dapat dioperasikan dalam berbagai suhu. Itu Keuntungan terbesar dari filter dikemas tempat tidur adalah bahwa tempat

tidur bahan dapat mudah dipertukarkan pernah diblokir oleh. misalnya ter. Oleh karena itu dikemas filter bed sering digunakan untuk debu gabungan dan tar removal.

- ***Rigid barrier filters***
  fitur kemungkinan untuk mempertahankan panas masuk akal gas produser karena suhu operasi maksimum hingga 900 °C.



Gambar 2.8 Prinsip kerja dari *cyclones* dan *rigid barrier filters* (Lohrengel, 2004 dalam Zurich, 2008)

c. Electrostatic Filter

Electrostatic Filter sangat sering digunakan di dalam berbagai operasi pembersihan gas. Di dalam sistem ini, produk gas mengalir melalui elektroda bertegangan tinggi yang mengalirkan arus listrik ke partikulat, namun tidak mempengaruhi aliran gas permanen. Partikulat kemudian dikumpulkan sementara aliran gas mengalir melewati pelat pengumpul pada kutub yang berlawanan. Partikulat yang sudah dialiri arus kemudian bermigrasi ke pelat pengumpul dan mengendap di permukaannya. Partikulat dipisahkan dari pelat menggunakan metode basah atau kering. *Scrubber* kering menggunakan aksi mekanik untuk

memisahkan material dari permukaan secara periodik dan dioperasikan pada temperatur 500^{o}C atau lebih. Sedangkan *scrubber* basah memisahkan partikulat menggunakan aliran air yang membentuk film tipis di permukaan dan dioperasikan pada temperatur sekitar 65^{o}C. *Electrostatic Filter* telah banyak digunakan dalam sistem pembangkit listrik batubara dan digunakan juga dalam beberapa fasilitas pembakaran biomassa. Penggunaannya dalam gasifikasi skala menengah ataupun besar masih terbatas. *Electrostatic Filter* paling cocok untuk digunakan dalam operasi skala besar karena ukuran fisik dan harganya. Satu-satunya hambatan penggunaan filter ini dalam sistem gasifikasi hanya dari segi ekonomi. Contoh pengguna jenis filter ini adalah *Easymon AG gasifier* di Boizenberg Jerman dan *Harboore gasifier* di Denmark. Kedua sistem tersebut memproduksi bahan bakar untuk *gas engine* dan memiliki pembangkit listrik dengan kapasitas 3,5 dan 1 MW. Pada kedua kasus tersebut, gas diproduksi menggunakan gasifier *fixed bed up draft*. Di Jerman, gas pertama kali didinginkan kemudian dilewatkan pada siklon dan *catalytic tar cracker*. Sedangkan *Electrostatic Precipitator* (kering) dipasang di bagian akhir untuk memisahkan sisa-sisa partikulat. Di Denmark, sistem tidak memiliki *tar cracker* dan gas yang sudah didinginkan melewati siklon kemudian langsung dialirkan ke *electrostatic precipitator* basah. Pada kedua kasus, produk gas sama-sama dilewatkan ke *wet scrubber* sebelum digunakan.

d. *Wet Scrubber*

Wet Scrubber menggunakan penyemprot cair, umumnya air, untuk memisahkan partikulat. Partikel dikumpulkan melalui tumbukan dengan tetesan cairan, kemudian tetesan tersebut dipisahkan kembali dari aliran gas di dalam demister. *Wet Scrubber* yang paling umum digunakan adalah venturi *scrubber* yang dapat menciptakan penurunan tekanan sehingga larutan dapat disemprotkan dengan mudah ke aliran gas. Kecepatan gas berkisar antara 60 s.d. 125 m/detik di area “tenggorokan”. Efisiensi pemisahan partikulat sebanding dengan penurunan

tekanan di sepanjang venturi. Dengan penurunan tekanan antara 2,5-25 kPa, *scrubber* jenis ini dapat memisahkan 99,9% partikel berukuran di atas 2 m, dan 95-99% partikel 1 m. Partikulat basah dari venturi kemudian dipisahkan dari aliran gas menggunakan demister. Demister dapat berbentuk siklon, *packed bed*, ataupun jenis pengumpul lainnya. Proses *Wet Scrubbing* mengharuskan air tetap berada pada fasa cair, sehingga produk gas harus didinginkan hingga di bawah 100^{o}C. Kehilangan panas sensible tersebut biasanya tidak diinginkan. Sebagian besar sistem gasifikasi biomassa yang menggunakan *Wet Scrubber* umumnya menggunakan teknologi tersebut semata-mata untuk memisahkan tar, bukan partikulat. Penghilangan partikulat secara terpisah dapat mencegah kondensasi tar lengket pada permukaan partikulat, sehingga pengerakan dan penyumbatan dapat dicegah. Penggunaan *Wet Scrubber* untuk memisahkan tar akan dijelaskan lebih detail pada sub bab selanjutnya.

2. Teknologi Pemisahan Senyawa Alkali

Mineral dalam biomassa bung gaanyak mengandung garam-garam alkali, terutama potasium. Pada temperatur sekitar 800^{o}C garam alkali dapat menguap sehingga apabila didinginkan di sisi hilir akan mengendap dan menimbulkan masalah. Umumnya gasifier yang digunakan dalam skala besar bekerja pada temperatur 700-900^{o}C, oleh karena itu senyawa alkali sangat mungkin muncul pada berbagai sistem gasifikasi. Senyawa alkali akan tetap berada pada fasa uap di dalam aliran gas hingga terjadi kondensasi ketika gas didinginkan hingga temperatur di bawah 650 ^{o}C. Uap alkali akan terkondensasi menjadi partikulat kecil (<5 m) dan dapat juga terkondensasi di permukaan partikulat lain ataupun di permukaan sistem. Pemisahan material terkondensasi ini sangat penting apabila gas akan digunakan pada aplikasi seperti tubin gas. Karena pada aplikasi tersebut, senyawa alkali akan teruapkan kembali pada temperatur tinggi dan terbawa ke zona pembakaran. Pada kebanyakan sistem gasifikasi saat ini, uap alkali dipisahkan dengan cara mendinginkan produk gas hingga temperatur di bawah 600 ^{o}C agar senyawa alkali dapat

terkondensasi menjadi partikulat padat. Padatan kemudian dipisahkan menggunakan berbagai sistem filtrasi yang telah dijabarkan sebelumnya. Pada sistem yang sensitif terhadap endapan garam alkali, sistem filtrasi harus memperhitungkan ukuran partikel yang sangat kecil dan kelakuan kimia dari material alkali yang terkondensasi tersebut. Siklon misalnya, akan menjadi tidak efektif untuk memisahkan padatan berukuran < 5 m. Saat ini, metode yang paling efektif untuk memisahkan alkali adalah dengan cara mendinginkan produk gas hingga temperatur operasi teknologi pemisahan padatan lainnya seperti *electrostatic filter, bag filter,* atau *wet scrubber*. Meskipun sistem tersebut cukup efektif, kebutuhan pendinginan produk gas dan kehilangan panas sensible dapat mengurangi efisiensi sistem. melakukan kajian pemisahan alkali dari sebuah sistem gasifikasi yang dijalankan pada temperatur 825 ^{o}C yang dilengkapi dengan filter bauksit pada temperatur 650-725 ^{o}C. Hasil penelitiannya diberikan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Hasil Filtrasi Alkali

Alkali	Konsentrasi terukur tanpa filter bauksit (ppm)	Konsentrasi terukur dengan filter bauksit (ppm)
Na	28	0.07
K	11	0.58

Dari Tabel 2.4 dapat dilihat bahwa penggunaan filter gas panas dapat mengurangi konsentrasi sodium dan potassium di dalam aliran gas secara signifikan.

3. Teknologi Pemisahan Tar

Pemisahan tar dari aliran gas sangat penting dalam sistem gasifikasi. Ketika produk gas mendingin, tar yang teruapkan akan terkondensasi pada permukaan yang lebih dingin ataupun pada permukaan partikulat. Proses pemisahan tar menjadi penting karena ketika gas harus didinginkan akibat kebutuhan aplikasi selanjutnya, tar terkondensasi dapat menyebabkan permasalahan operasional. Untuk berbagai sistem yang sensitif terhadap

pembentukan tar, sangat penting untuk mengurangi produksi tar yang terkandung dalam gas keluaran gasifier.

Mencocokkan jenis gasifier yang digunakan dengan aplikasi penggunaan produk gas selanjutnya merupakan langkah yang paling krusial untuk mencegah permasalahan akumulasi tar. Pemisahan tar dapat dilakukan melalui proses fisik maupun melalui proses berkatalis. Penjelasan mengenai kedua proses tersebut akan disampaikan dalam sub bab selanjutnya.

a. Teknologi Pemisahan Tar secara Fisik

Proses pemisahan tar yang paling umum dilakukan saat ini adalah melalui pendinginan produk gas sehingga tar dapat terkondensasi pada permukaan tetesan aerosol dan kemudian tetesan tersebut dipisahkan menggunakan teknologi yang mirip dengan pemisahan partikulat. Teknologi tersebut antara lain *wet scrubber*, *electrostatic precipitator*, atau siklon. Partikulat dihilangkan secara terpisah dengan tar. Namun apabila memungkinkan, pemisahan partikulat dan tar dapat dilakukan secara simultan.

Wet scrubber akan mengumpulkan tar dengan cara melewatkan material tersebut ke dalam tetesan air. Tar dan cairan mengalir ke dalam demister atau decanter untuk kemudian dipisahkan. Penggunaan air di dalam *scrubber* ini menyebabkan aliran gas harus berada pada temperatur 35-60^{o}C. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari pengganti air seperti berbagai jenis minyak, namun penelitian-penelitian tersebut masih dalam tahap eksperimen. Berbagai rancangan *scrubber* tersedia secara komersial seperti *spray tower, impingement scrubber, baffle scrubber,* dan *venturi scrubber*. Kaitan antara kompleksitas dan efisiensi *scrubber* tersebut diberikan dalam Tabel 2.5. *Wet scrubber* telah banyak digunakan dalam industri pemrosesan gas dan kinerjanya sudah sangat baik.

Tabel 2.5 Efisiensi Tar Relatif Untuk Berbagai Jenis Scrubber

	Pressure drop, cm air	Ukuran partikel (m) untuk pengumpulan hingga 80%
Spray Tower	1,5 – 4	10
Impingiment	5 – 125	1-5
Packed Bed	5 – 125	1-10
Venturi	10 – 250	0,2 – 0,8

Wet Scrubber juga sudah banyak digunakan untuk pembersihan gas hasil gasifikasi biomassa. Kinerja untuk beberapa jenis *scrubber* disampaikan dalam Tabel 2.7

Tabel 2.6 Efisiensi Pemisahan Tar Penggunaan Wet Scrubber Dalam Sistem Gasifikasi Biomassa

Teknologi	**Efisiensi Pemisahan Tar**
Spray Tower	11-25% Tar berat
	40-60% PAH
	0-60% Senyawa fenolik
Spray Tower	29% tar berat
Venturi Scrubber	50-90%
Venturi dan spray scrubber	83-99% material yang mudah terkondensasi
Venture + syclonic demister	93-99% senyawa organic yang mudah terkondensasi
Vortex scrubber	66-78% residu penguapan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian pada Tugas Akhir ini melalui beberapa tahapan. Penelitian yang dikaji yaitu pemanfaatan sampah organik (Biomassa) menjadi pembangkit energi listrik dengan metode gasifikasi. Serta dilakukan analisis teknik dan ekonomi terhadap pembangkit. tahapan penelitian akan dijelaskan secara rinci dibagian bawah:

3.1 Perhitungan Potensi Biomassa dan Energi yang dihasilkan

Pada Penelitian ini, potensi biomassa di Surabaya sebagai studi kasus untuk mendapatkan listrik tenaga biomassa. Potensi biomassa yang ada diperhitungkan secara keseluruhan untuk di konversi sebagai pembangkit tenaga listrik. Perhitungan diharapkan mendapat suatu model pembangkit yang sesuai dengan potensi tempat studi kasus.

Perhitungan dilakukan berdasarkan Pembangkit yang akan dijadikan penelitian. Perhitungan kapasitas daya yang dibangkitkan perlu mengetahui efisiensi dari metode pembangkit yang digunakan. Efisiensi Termal adalah rasio antara kerja netto dan kalor yang ditambahkan pada siklus atau instalasi daya. Efisiensi termal diantaranya adalah efisiensi bruto (*gross effeciency*) adalah efisiensi yang dihitung atas dasar kerja bruto atau daya bruto turbine generator. Kerja atau daya MW bruto, adalah yang dihasilkan sebelum sebagian daya diambil untuk menjalankan instalasi daya itu sendiri, yaitu untuk menjalankan pompa, kompresor, peralatan penanganan bahan bakar, alat-alat lain, laboratorium, komputer, penerangan kantor dan sebagainya.

Efisiensi netto (*net efficiency*) dihitung atas dasar kerja atau daya netto instalasi daya yang nantinya akan dijual kekonsumen. Efisiensi netto didapat dari pengurangan daya bruto dengan daya yang diambil untuk keperluan intern seperti yang di maksud diatas. Selain dari itu ada sebuah parameter yang tak kalah pentingnya yaitu suatu parameter yang mudah menggambarkan

kosumsi bahan bakar yang disebut dengan laju kalor (heat rate, HR). Laju kalor adalah jumlah kalor yang ditambahkan, biasanya dalam Btu, untukmenghasilkan satu satuan jumlah kerja, biasanya dalam kilowatt-jam (kWh). Jadi satuan laju kalor adalah Btu/jam. Laju kalor (HR) berbanding terbalik dengan efisiensi, artinya makin rendah laju kalor maka makin baik sebab efisiensi menjadi besar (Partha, 2010).

$$HR\ Pusat\ Bruto = \frac{\text{Laju Penambahan Kalor ke Pembangkit (Btu)}}{\text{Daya Pusat Bruto (kW)}} \quad (3.1)$$

Oleh karena itu 1kWh = 3412 Btu, setiap laju kalor itu berhubungan dengan efisiensi termal yang bersangkutan sebagai berikut:

$$HR\ (Laju\ Kalor) = \frac{3412\ Btu}{\eta_{th}} \quad (3.2)$$

Bila efisiensi dan laju kalor instalasi daya dinyatakan tanpa penjelasan, maka biasanya yang dimaksud adalah efisiensi dan laju kalor pusat netto. Laju penambahan kalor ke pembangkit dapat dicari dari hasil perkalian antara laju pembakaran dari bahan bakar yang dihabiskan perhari dengan nilai kalor dari bahan bakar tersebut. Laju pembakaran bahan bakar diperoleh dari banyaknya bahan bakar yang dihabiskan perhari.

3.2 Penentuan Lokasi PLT Biomassa

Aspek - aspek yang digunakan untuk penentuan lokasi PLT Biomassa seperti Aspek yang dilakukan dalam membangun PLTU, yaitu sebagai berikut (Febijanto, 2011):

1. Aspek fisik lokasi

Aspek fisik lokasi berkaitan dengan kondisi dan karakteristik fisik lokasi yang ditunjukkan oleh kondisi umum, kondisi geologi, kondisi lingkungan dan sarana penunjang yang terletak pada lokasi yang bersangkutan. Penilaian aspek ini berdasarkan beberapa faktor di antaranya data seismik (gempa), data hasil survei penyelidikan tanah untuk penentuan kedalaman pondasi tiang bor, serta peta topografi lahan.

2. Aspek kelistrikan

Aspek kelistrikan berkaitan dengan kondisi dan karakteristik yang berpengaruh terhadap masalah kelistrikan yang ditunjukkan oleh parameter jarak terdekat terhadap jaringan transmisi.

3. Aspek jalan masuk

Aspek jalan masuk berkaitan dengan kemudahan aksesibilitas lokasi yang akan mempengaruhi biaya transportasi.

4. Aspek bahan bakar dan air

Aspek bahan bakar dan air berkaitan dengan ketersediaan bahan bakar dan air di lokasi tersebut. Bahan bakar dalam hal ini adalah limbah sampah biomassa.

5. Aspek lingkungan

Aspek lingkungan berkaitan dengan kondisi lingkungan pada saat ini serta dampak yang mungkin timbul dengan didirikannya pembangkit listrik.

6. Aspek biaya

Aspek biaya berkaitan dengan biaya investasi dan biaya operasi pembangkit pada tiap-tiap lokasi yang dipilih, oleh karena itu menjadi faktor yang sangat dominan dalam pemilihan lokasi pembangkit.

Semua aspek tersebut di atas harus dipertimbangkan sehingga didapatkan lokasi pembangkit yang paling layak dan menguntungkan. Namun karena lokasi PLT Biomassa berada di dalam area Kota Surabaya. maka aspek fisik, aspek kelistrikan dan aspek jalan masuk tidak menjadi pertimbangan yang penting. Aspek sumber bahan bakar dan air, aspek lingkungan dan aspek biaya merupakan tiga faktor yang menjadi inti dari pokok pembahasan dalam laporan studi ini.

3.3 Analisis Teknik dan Ekonomi

Pemilihan teknologi dilakukan berdasarkan analisis teknik dan ekonomi. Setelah mengetahui berapa jumlah bahan baku yang dibutuhkan dan jumlah produk (kapasitas) yang dihasilkan. selanjutnya sudah dapat dilakukan analisis teknik dan ekonomi. Analisis teknik dan ekonomi ini dilakukan untuk mengetahui apakah PLT Biomassa ini layak atau tidak untuk didirikan yang

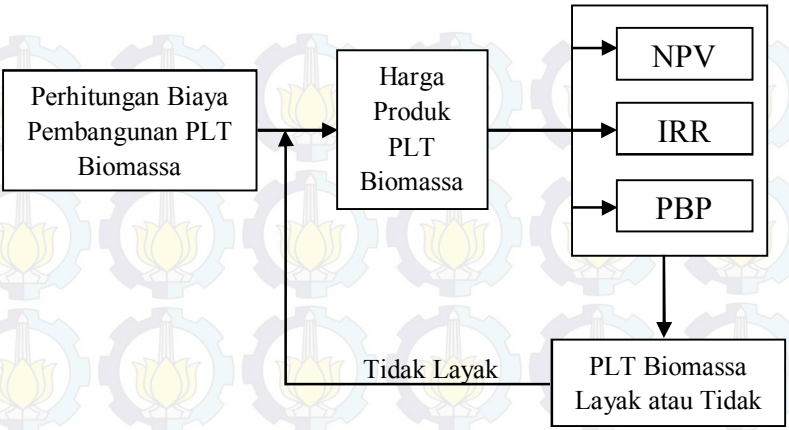
tetap mempertimbangkan pada komponen komponen teknis pendirian PLT Biomassa dari sampah organik TPA Benowo Surabaya. Oleh karena itu, sebelum menghitung analisis ke ekonomian, maka terlebih dahulu dilakukan secara teknik biaya pembangunan PLT Biomassa.

3.3.1 Teknik Analisis Konversi Energi Listrik

Konversi energi listrik dari biomassa dilakukan dengan mengubah energi potensial yang ada dalam biomassa menjadi mekanik, kemudian energi mekanik menjadi energi listrik. Untuk menganalisis secara tekno ekonomi, terlebih dahulu mengetahui mengenai komponen biaya-biaya pendirian PLT Biomassa. Dalam pemilihan teknologi dilakukan berdasarkan pada teknologi yang mendukung dalam proses gasifikasi. Dalam pemilihan teknologi ini diklakukan dengan cara mencari literatur komponen teknologi yang efisien dan kinerjanya maksimal. Sehingga nanti dapat digunakan referensi untuk pembangunan PLT Biomassa.

3.3.2 Teknik Analisis *Capital Budgeting*

Teknik analisis *capital budgeting* dapat digunakan untuk menilai apakah suatu proyek dapat diterima atau tidak. Analisis utama dilakukan terhadap *net present value* (NPV), *internal rate of return* (IRR), dan *payback period* (PBP).



Gambar 3.1 Diagram Alir Analisis Teknik Ekonomi

3.3.2.1 *Net Present Value* (NPV)

NPV adalah nilai sekarang dari sejumlah keuntungan proyek yang terakumulasi sampai akhir usia proyek.

Net Present Value (NPV) dihitung dengan mengurangi investasi awal proyek (CFo) dari nilai sekarang dari arus kas masuk (CFt) pada tingkat suku bunga (i).

NPV = nilai sekarang kas masuk – Initial investasi

$$NPV = \sum_{t=n}^{N} \frac{CFt}{(1+i)^n} - CF_0 \quad \text{..... (3.3)}$$

Bila NPV digunakan untuk membuat keputusan diterimas-ditolak, kriteria keputusan adalah sebagai berikut:

- Jika NPV lebih besar dari 0, proyek diterima
- Jika NPV kurang dari 0, proyek ditolak

Jika NPV lebih besar dai 0, perusahaan akan mendapatkan pengembalian lebih besar dari biaya modal.

Suatu investasi dinyatakan layak (menguntungkan) apabila NPV bernilai positif, sebaliknya NPV bernilai negative menunjukkan bahwa investasi tidak layak (tidak menguntukan). Adapun nilai NPV = 0 menunjukkan bahwa pengembalian

investasi berada pada titik minimum kelayakan atau titik impas (*break-even point*).

3.3.2.2 *Internal Rate of Return* (IRR)

IRR adalah tingkat suku bunga yang menghasilkan nilai NPV sama dengan nol (karena nilai sekarang dari arus kas masuk sama dengan investasi awal).

$$0 = \sum_{t=0}^{t} \frac{Xt}{(1+IRR)^t} \quad \text{.....(3.4)}$$

Dengan :
X_t = *Cashflow* di tahun ke-t
IRR = *Rate of Return*

Apabila IRR digunakan untuk membuat keputusan diterima-ditolah, kriteria keputusan adalah sebagai berikut:

- Jika IRR lebih besar dari biaya modal, proyek diterima
- Jika IRR lebih kecil dari biaya modal, proyek ditolak

Suatu Proyek investasi dianggap layak apabila nilai IRR investasi tersebut lebih dari pada nilai MARR (*minimum acceptable rate of return*). Nilai MARR ditentukan berdasarkan tingkat bunga bank atau tingkat bunga bank ditambah risk premium yang mencerminkan tingkat resiko dari proyek tersebut serta ditambah tingkat keuntungan yang diharapkan investor. Dalam proyek teknik, biasanya nilai MARR berkisar antara 10%-13%. Sebaliknya, nilai IRR yang berada dibawah nilai MARR menunjukkan bahwa investasi tidak layak (tidak menguntungkan). Adapun nilai IRR = nilai MARR menunjukkan bahwa pengembalian investasi berada pada titik minimum kelayakan atau titik impas (*break-even point*).

3.3.2.3 *Payback Period* (PBP)

Payback period biasanya digunakan untuk mengevaluasi usulan investasi. Payback period adalah jumlah waktu yang diperlukan bagi perusahaan untuk mengembalikan investasi awal dalam suatu proyek, yang dihitung sebagai kas masuk. Dalam

kasus sebuah anuitas, payback period dapat diketahui dengan membagi investasi awal:

$$PBP = \left(\frac{Initial\ investment\ cost}{Annual\ cash\ inflowsh}\right) \quad \text{.....(3.5)}$$

- Jika PBP kurang dari maksimum PBP yang diterima, proyek akan diterima
- Jika PBP lebih besar daripada PBP yang diterima, proyek akan ditolak

Jangka waktu PBP maksimum yang diterima ditentukan oleh manajemen. Nilai ini ditetapkan secara subyektif berdasarkan sejumlah faktor, termasuk jenis proyek (ekspansi, penggantian, pembaharuan), risiko proyek dan hubungan antara PBP dan nilai saham

3.4 Perhitungan Potensi Pengurangan CO_2

Pemanfaatan biomassa sebagai pembangkit listrik diharapkan dapat mereduksi emisi yang dikeluarkan akibat timbunan sampah yang tidak dimanfaatkan. Sampah yang tertimbun dalam jangka waktu tertentu akan mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Gas metana yang dilepaskan ke udara begitu saja memiliki emisi gas rumah kaca sebesar 21 kali lebih buruk dari CO_2 (Winayanti. 2009).

Perhitungan pengurangan emisi akibat mengganti /subsitusi bahan bakar fosil adalah sebagai berikut:

a. Menghitung besarnya energi listrik per tahun yang dihasilkanoleh pembangkit listrik tenaga bimassa. Persamaan yang digunakan adalah:

   energi listrik per tahun (MWh) = kapasitas tepasang pembangkit (MW) x 8760 h.....(3.6)

b. Menghitung *emission factor* CO_2 pembangkit, Pesamaan yang digunakan adalah:

   emission factor (tCO_2/MWh)= Volume bahan bakar fosil/energi yang dihasilkan x *emission factor* bahan bakar x kandungan energi bahan bakar ..... (3.7)

3.5 Analisa Sensitivitas

Setelah mendapatkan model pembangkit tenaga biomassa serta investasi dan pendapatannya. Maka perlu dilakukan analisa sensitivitas. Karena suatu studi ekonomi teknik tidak lepas dari faktor kesalahan. Kemungkinan parameter yang digunakan dalam melakukan studi lebih besar atau lebih kecil dari hasil estimasi yang diperoleh, atau berubah pada saat – saat tertentu. Perubahan yang terjadi pada nilai parameter akan mengakibatkan perubahan hasil yang didapat. Perubahan itu dapat menyebababkan layak atau tidaknya studi tersebut. Analisa ini akan memberikan gambaran sejauh mana suatu keputusan akan cukup kuat terhadap perubahan faktor - faktor yang mempengaruhinya. Faktor yang dipakai dalam analisa sensitivitas yaitu biaya investasi, tingkat bunga dan pendapatan (Pujawan, 2009).

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Potensi Bahan Baku untuk Produksi *Syngas* di TPA Benowo Surabaya

Pada penelitian yang dilakukan oleh Nikmah, (2012). Kuantitas Sampah basah TPA Benowo setiap hari sekitar 1245 ton pada tahun 2012. Penelitiannya membahas tentang kandungan sampah di Surabaya. Analisis yang dilakukan yaitu mencari parameter – parameter yang ada dalam *Proximate* dan *Ultimate*. lebih lengkapnya seperti pada tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Analisis *Proximate* Sampah TPA Benowo

Analisis	Parameter	Satuan (w/w)	Nilai
Proximate Analysis	Kadar Air	%	58,90
	Volatil Solid	%	82,91
	Kadar Abu	%	17,09
	Nilai Kalor Sampah Organik	Kkal/kg	2741,25

Tabel 4.2 Analisis *Ultimate* Sampah TPA Benowo

Analisis	Parameter	Satuan (w/w)	Nilai
Ultimate Analysis	Total Karbon	%	49,78
	Hidrogen	%	5,53
	Nitrogen*	%	2,82
	Oksigen	%	45,59

**Laboratorium kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan-ITS, 2012*

Pada tebel 4.1 Diketahui bahwa nilai kalor yang ada pada sampah organik TPA Benowo sebesar 2741,25 Kkal/kg. setelah diketahui nilai kalor pada bahan, selanjutnya nilai kalor digunakan untuk perhitungan kapasitas daya yang dihasilkan dari potensi yang ada. Penentukan kapasitas PLT Biomassa dilakukan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\textit{HR Pusat Bruto} = \frac{\text{Laju Penambahan Kalor ke Pembangkit (Btu)}}{\text{Daya Pusat Bruto (kW)}} \quad (4.1)$$

Oleh karena itu 1kWh = 3412 Btu, setiap laju kalor itu berhubungan dengan efisiensi termal yang bersangkutan sebagai berikut:

$$HR\ (Laju\ Kalor) = \frac{3412\ Btu}{\eta_{th}} \quad (4.2)$$

Untuk mendapatkan daya, kuantitas sampah dan nilai kalor di konversi ke lbm dan Btu.

Pada penelitian ini pembangkit yang digunakan yaitu metode gasifikasi. Gasifikasi mempuyai efisiensi proses sebesar 75,15% (Janajreh dkk, 2012). Daya internal yang dibutuhkan sebesar 25% dari total daya.

Energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik metode gasifikasi sampah organik (Biomassa) di TPA Benowo dapat diperhitungkan sebagai berikut:

Jumlah bahan bakar per hari	= 1245 ton
	= 2744755.12 lbm
Nilai kalor sampah organik	= 2741,25 Kkal/kg
	= 4934,11 Btu/lbm
Efisiensi Pembangkit	= 75,15 %

Jadi,

$$HR\ (Laju\ Kalor) = \frac{1\ kWh}{\eta_{th}} = \frac{3412\ Btu}{75{,}15\%}$$

HR (Laju Kalor) = 4540,253 Btu/kWh

$$\text{HR Pusat Bruto} = \frac{\text{Laju Penambahan Kalor ke Pembangkit (Btu)}}{\text{Daya Pusat Bruto (kW)}}$$

$$\text{Daya Pusat Bruto} = \frac{114199{,}45\ lbm\ x\ 4934{,}11\ Btu/lbm}{4540{,}253\ \text{Btu/kWh}}$$

$$= \frac{563472907{,}679\ Btu/lbm}{4540{,}253\ \text{Btu/kWh}}$$

= 124106 kW = 124 MW

Perhitungan didapatkan bahwa dengan efisiensi keseluruhan sebesar 75% daya yang didapatkan sebesar 124 MW. Selanjutnya menghitung daya internal yang dibutuhkan oleh pembangkit. Pembangkit membutuhkan 25 % dari kapasitas daya yang didapat.

Jadi,

Daya Internal = 124 x 25%
= 31 MW

Perhitungan daya internal untuk pembangkit sebesar 31 MW. Setelah diketahui kapasitas daya total dan daya internal maka untuk mengetahui daya bersih dari pengurangan antara daya total bruto dengan daya internal.

Daya netto = 124 MW – 31MW
= 93 MW

Daya netto didapatkan sebesar 93 MW, daya ini yang nantinya di jual untuk pendapatan dari pembangkit.

4.2 Penentuan Lokasi PLT Biomassa

Pada penentuan lokasi harus mempertimbangkan 6 aspek yaitu aspek fisik lokasi, aspek kelistrikan, aspek jalan masuk, aspek bahan bakar, aspek lingkungan dan aspek biaya. Kota surabaya Aspek biaya berkaitan dengan biaya investasi dan biaya operasi pembangkit pada tiap-tiap lokasi yang dipilih, oleh karena itu sangat dominan dalam pemilihan lokasi pembangkit.

Perencanaan diketahui bahwa timbunan sampah kota Surabaya hanya di tampung di TPA Benowo dengan luas lahan ± 37 Ha sudah termasuk daerah pengembangan seluas 3,43 Ha. Sampah organik di Benowo sebanyak 1245 ton/hari. Dari segi aspek kelistrikan, produksi listrik PLT Biomassa ini direncanakan dapat memberikan dampak positif dengan berkontribusi terhadap pemenuhan konsumsi listrik di Surabaya, sekaligus memperbaiki kualitas suplai listrik di sekitar daerah Surabaya. Karna ketersediaan saat ini Jatim mencatatkan surplus daya mencapai 2.400 Mega Watt (MW). Namun besaran pasokan tersebut juga tidak bisa digunakan untuk menyelamatkan Surabaya dari ancaman krisis energi listrik. “Penyebab krisis listrik, lebih dipicu

sulitnya kami melakukan penambahan gardu induk. Bahkan, sejak tahun 2010 tidak ada lagi penambahan gardu induk di Surabaya,"

Lokasi TPA Benowo, berada di area antara 07°9' – 07°21' lintang selatan dan 122°36' – 112°54' Bujur timur. Fasilitas umum di TPA Benowo diantaranya adalah masjid dan tanah lapangan. Fasilitas umum ini terletak di perkampungan penduduk di daerah Tambak Dono dan Benowo.

Sungai dan saluran drainase, Penggunaan tanah untuk prasarana berupa sungai dan saluran drainase di wilayah TPA Benowo terdiri dari Kali Lamong, Kali Sememi, Saluran Benowo, Saluran Rejosari dan saluran irigasi tambak ikan atau tambak garam.

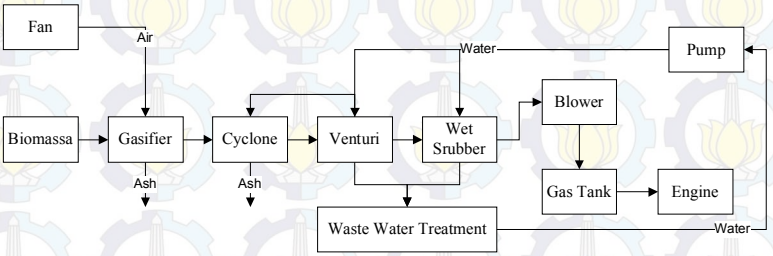
Jalan arteri, yaitu Jl. Tambakdono, Jl. Pakal dan Jl. Tandes – Benowo Jalan Tol Surabaya – Gresik, mulai dari Jl. Margomulyo sampai dengan Romokalisari. Rumija berkisar antara 40 m hingga 80 m, dimana Rumija sebesar 40 m berada disekitar km 6 dan Rumija sebesar 80 m di sekitar gerbang tol Romokalisari.

Gambar 4.1 Lokasi TPA Benowo

4.3 Analisis Teknik Ekonomi

Dalam analisis teknik dan ekonomi ini dibahas mengenai nilai keekonomian pembangunan PLT Biomassa dengan tetap mempertimbangkan komponen – komponen teknik pembangunan PLT Biomassa.

4.3.1 Analisis Teknik PLT Biomassa



Gambar 4.2 Komponen Utama PLT Biomassa

Pada gambar 4.3 konfigurasi fasilitas peralatan PLT Biomassa, biomassa dimasukkan ke gasifier. Jenis gasifier ini cocok untuk skala 20 - 200 MW. Kapasitas pembangkit didapatkan dari perhitungan yaitu 124 MW. Bahan baku (sampah organik) biomassa yang dimasukkan sebesar 51,8 ton/jam. Dalam gasifier akan terjadi kontak antara bahan bakar dengan medium penggasifkasi didalam gasifier. Proses didalam gasifier ada 4 tahapan, yaitu pengeringan, pirolisis, oksidasi dan reduksi. Pada proses pengeringan bahan bakar dipanaskan pada temperature 100 – 300^{o}C, hal ini bertujuan untuk mengurangi kadar air (*moisture*) yang terkandung dalam biomassa. Kemudian bahan bakar dipanaskan pada proses pirolisis yang yang dimulai pada temperature 300^{o}C, hasil proses pirolisis berupa gas ringan (H_2, CO, CO_2, H_2O, dan CH_4), tar, dan arang. Selanjutnya bahan bakar dipanaskan pada proses oksidasi dengan temperature lebih dari 900^{o}C, proses ini bertujuan untuk memecahkan subtitusi tar sehingga kandungan tar yang dihasilkan lebih rendah. Proses ini dipengaruhi oleh distribusi oksigen pada area terjadinya oksidasi karena adanya oksigen inilah dapat terjadi reaksi eksoterm yang

akan menghasilkan panas yang dibutuhkan dalam keseluruhan proses gasifikasi ini. Tahap selanjutnya bahan bakar mengalami reaksi penyerapan panas (endoterm) dengan kisaran temperature 400 - 900^{o}C, produk yang dihasilkan dari proses ini gas yang dapat terbakar seperti senyawa CO, H_2 dan CH_4 mulai terbentuk. Sehingga pada bagian ini disebut sebagai *producer gas*.

Selanjutnya dari gasifier yang menghasilkan *syngas* di salurkan ke *cyclone,* karna gas yang dihasilkan masih mengandung partikulat - partikulat dari reaktor, sulfur, klorida/gas asam (HCl) dan logam berat (Hg). *Cyclone* akan membersihkan *syngas* dari kotoran menggunakan *Filter cyclone* (seringkali dirancang sebagai tube berbentuk U) umumnya peralatan ini digunakan pada tahap pertama untuk pembersihan gas pada sistem gasifikasi. Selanjutnya dibersihkan kembali menggunakan venturi *scrubber* yang mana penggunaan teknologi ini akan menurunkan tekanan sehingga larutan dapat disemprotkan dengan mudah ke aliran gas. Kecepatan gas berkisar antara 60 - 125 m/detik di area "Tenggorokan". Efisiensi pemisahan partikulat sebanding dengan penurunan tekanan di sepanjang venturi. Dengan penurunan tekanan antara 2,5-25 kPa, *scrubber* jenis ini dapat memisahkan 99,9% partikel berukuran di atas 2 m, dan 95-99% partikel 1 m. Selanjutnya untuk membersihkan sifat alami polutan yang terkandung dalam produser gas di gunakan *Wet Scrubber*. *Wet scrubber* akan mengumpulkan tar dengan cara melewatkan material ke dalam tetesan air. Tar dan cairan mengalir ke dalam *demister* atau *decanter* untuk kemudian dipisahkan. Penggunaan air di dalam *scrubber* ini menyebabkan aliran gas harus berada pada temperatur 35-60^{o}C. *Wet scrubber* telah banyak digunakan dalam industri pemrosesan gas dan kinerjanya sudah sangat baik.

Setelah *syngas* yang dihasilkan bersih kemudian disalurkan ke penampung gas menggunakan blower dan diteruskan ke pembangkit listrik untuk memproduksi energi seperti uap dan listrik untuk digunakan dalam proses internal dan distribusi. Energi yang didistribusikan berupa listrik melalui perubahan Teknologi turbin gas menggunakan gas buang panas dalam

berbagai cara untuk mencapai siklus yang sangat tinggi efisiensi. Suhu gas puncak siklus turbin gas adalah lebih dari 1200°C.

Jenis pembangkit yang dipilih adalah jenis gas engine. Jenis ini dipilih karena mampu memberikan pembangkitan listrik yang maksimum dari gas yang di suplai. Kapasitas gas engine 4,5 MW dengan efisiensi 25-25%.

4.3.2 Biaya Pembangunan PLT Biomassa

Biaya pembangunan PLT Biomassa dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Biaya – biaya tetap berkaitan dengan pengeluaran untuk peralatan – peralatan yang dipakai pada suatu periode waktu seperti *reactor gasifier, cyclone,* dan bersifat independen terhadap besar tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik.
2. biaya – biaya tidak tetap berkaitan dengan pengeluaran untuk barang – barang yang dikonsumsi dalam periode waktu pendek dan tergantung pada besar tenaga listrik yang dihasilkan.

Dalam pemilihan alternatif – alternatif teknologi pembangkit tenaga listrik yang dipilih, maka analisis dari perbandingan biaya – biaya tetap dan tidak tetap terhadap tenaga listrik yang dihasilkan merupakan pertimbangan utama dari sudut ekonomi, biaya ini diperoleh dari mengadopsi biaya yang dipakai oleh Dennis Y.C. Leung dkk, 2004.

Perhitungan Keekonomian

Perhitungan Keekonomian sangat penting karena terkait dengan kelayakan pembangunan PLT Biomassa. Apabila secara keekonomian pembangunan PLT Biomassa ini tidak menguntungkan, maka tidak akan ada investor yang tertarik untuk ikut menanamkan modalnya untuk membangun PLT Biomassa. Berikut langkah – langkah yang dipakai untuk perhitungan keekonomian adalah:

Asumsi :

1. Kapasitas Terpasang : 124 MW
2. Suku Bunga Pinjaman dari Bank : 15 %
3. Capacity Faktor : 80 %
4. Book Life of Investment (n) : 15 tahun
5. Waktu konstruksi : 1 tahun
6. Bahan Baku : Biomassa (Sampah Organik)
7. Biaya Investasi : Rp 1.801.721.888.000

Cash Flow

Investasi pada tabel diatas adalah biaya pembangunan PLT Biomassa 124 MW, sedang investasi pada tahun ke-1 adalah nilai *investasi* dikalikan dengan suku bunga.

Cash In

Jumlah pendapatan per tahun/C*ash in Flow* (CIF) dapat dihitung dari kWh output dikalikan harga jual listrik ke PLN.

Harga jual listrik ke PLN : Rp 975/kWh (harga tarif biomasa sesuai PerMen 04/2012).

Tabel 4.3 Pendapatan Produk PLT Biomassa

Produk PLT Biomassa	Volume (kW)	Faktor Kapasitas (80%)	Harga Produk per kW (IDR)	Pendapatan pertahun dari 80 % kapasiras (IDR)
Listrik Internal	31000	24800	-	-
Listrik Dijual	93000	74400	975	522.288.000.000
Total				522.288.000.000

Berdasarkan tabel 4.3 diatas terlihat bahwa dengan harga produk yang ditetapkan oleh pemerintah serta beroperasi pada 80% dari kapasitas dengan jam kerja 7200 jam/hari, diperoleh pendapatan sebesar Rp 522.288.000.000

Cash Out

Tabel 4.4 Biaya PLT Biomassa

Biaya - Biaya	(IDR)
Biaya Pembangunan PLT Biomassa	932.000.300.000
Biaya O&M/ MW/Tahun	72.372.300.000

Berdasarkan tabel 4.4 diatas terlihat biaya pembangunan PLT Biomassa sebesar Rp 932.000.300.000, biaya Operasi dan pemeliharaan (O&M) sebesar Rp 72.372.300.000. Perhitungan biaya Investasi dan OM lebih detail di Lampiran A.1.

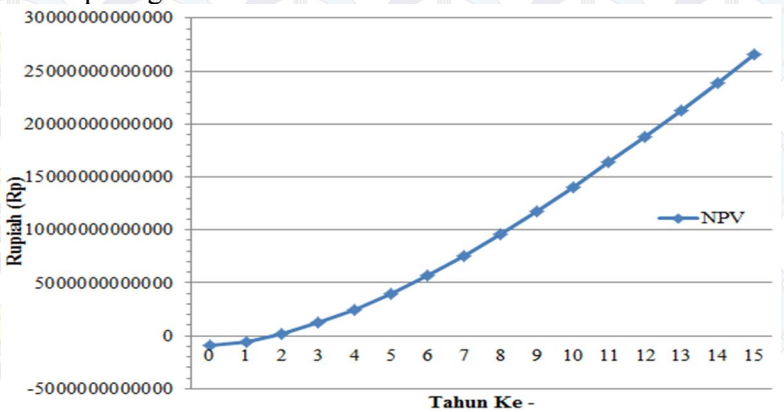
NPV *(Net Present Value)*

$$\text{NPV} = -932.000.300.000 - \frac{72.372.300.000}{(1+\ \%)^1} + \frac{522.288.000.000}{(1+\ \%)^1}$$

$$= \text{Rp.} - 540.769.256.522$$

NPV pada tahun pertama bernilai (-) sehingga investasi tidak layak.

Pada perhitungan NPV ini dilakukan sampai pada tahun ke - 15, untuk nilai NPV yang didapatkan sampai tahun ke - 15 bisa dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.3 NPV pada tahun ke 1 - 15

Pada **Gambar 4.3** diketahui bahwa NPV bernilai positif pada tahun ke – 2. Jadi PLT Biomassa bisa dikatakan layak untuk dibangun. Perhitungan lebih detail terdapat di Lampiran B.1.

IRR (*Internal Rate Return*)

NPV = - 932.000.300.000 - $\frac{72.372.300.000}{(1+i\%)^{15}} + \frac{522.288.000.000}{(1+i\%)^{15}}$

0 = - 932.000.300.000 - $\frac{449.915.700.000}{(1+i\%)^{15}}$

$(1 + i\%)^{15} = 2,07$ → Dari tabel *Compund Interest Factor* diperoleh

i = 47,63%

Nilai IRR = 47,63% > 15%, maka investasi dikatakan layak

PBP (Pay Back Period)

Tabel 4.5 *Pay Back Period*

Tahun	Biaya	Pendapatan	Selisih
1	1004372600000	522288000000	-482084600000
2	1076744900000	1044576000000	-32168900000
3	1149117200000	1566864000000	417746800000
4	1221489500000	2089152000000	867662500000
5	1293861800000	2611440000000	1317578200000

Dari tabel 4.5 dapat dilihat bahwa *Pay Back Period* untuk harga jual energi PLT Biomassa Rp 975 tercapai pada tahun ke 3.

4.4 Perhitungan Potensi Pengurangan Emisi

Berikut kemungkinan penurunan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga biomassa.

1 MWh = 0,963 tCO_2

Pembangkit listrik tenaga Biomassa di Surabaya mempunyai kapasitas 124 MW. Jadi,

124 MW x 0,8 x 24 h = 2380,8 MWh

Prediksi eduksi Emisi

2380,8 MWh x 0,963 tCO_2/MWh = 2292,71 tCO_2

Perencanaan pembangkit ini berjalan 1 tahun dapat diketahui dengan mengalikan jumlah hari aktif.

Dalam 1 tahun = 2292,71 tCO_2 x 300/tahun

= 687813,12 tCO_2/tahun

Namun ketika pembangkit ini direncanakan berjalan selama 15 tahun maka dapat dihitung dengan mengalikan hasil dalam 1 tahun dengan 15 tahun. Jadi,

Dalam 15 tahun = 687813,12 tCO_2 x 15 tahun

= 10317196,8 tCO_2

Sehingga dimungkinkan pada PLT Biomassa dapat mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 5657817,6 tCO_2 selama 15 tahun atau sebesar 687813,12 tCO_2/tahun.

4.6 Analisa Sensitivitas

Analisis sensitivitas ini akan diuji menggunakan skenario yang layak. Pengujian ini berdasarkan perhitungan yang telah didapat. Analisis ini meliputi eskalasi biaya Pembangkit, dan tingkat suku bunga, dan pendapatan terhadap nilai NPV.

4.6.1 Eskalasi biaya Pembangkit sampai ±100%, dari biaya pembangkit yang di estimasikan maka nilai NPV-nya akan menjadi:

a. Biaya Pembangkit bekurang 60%

NPV = - 372.800.120.000 + 449.915.700.000 (P/A, 15%, 15)

= - 372.800.120.000 + 449.915.700.000 (5.8474)

= - 372.800.120.000 + 2.630.837.064.180

= 2.258.036.944.180

b. Biaya Pembangkit bekurang 40%

NPV = - 559.200.180.000 + 449.915.700.000 (5.8474)

= - 559.200.180.000 + 2.630.837.064.180

= 2.071.636.884.180

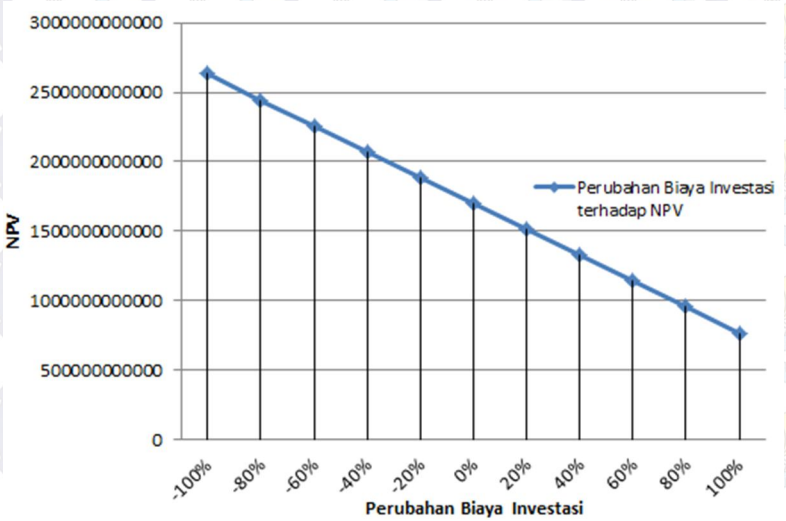
c. Biaya Pembangkit bekurang 20%
NPV = - 745.600.240.000 + 449.915.700.000 (5.8474)
= - 745.600.240.000 + 2.630.837.064.180
= 1.885.236.824.180

d. Biaya Pembangkit bertambah 20%
NPV = - 1.118.400.360.000 + 449.915.700.000 (5.8474)
= - 1.118.400.360.000 + 2.630.837.064.180
= 1.512.436.704.180

e. Biaya Pembangkit bertambah 40%
NPV = - 1.304.800.420.000 + 449.915.700.000 (5.8474)
= - 1.304.800.420.000 + 2.630.837.064.180
= 1.326.036.644.180

f. Biaya Pembangkit bertambah 60%
NPV = - 1.491.200.480.000 + 449.915.700.000 (5.8474)
= - 1.491.200.480.000 + 2.630.837.064.180
= 1.139.636.584.180

Untuk perhitungan lebih detail terdapat di Lampiran C.1. Bila di plot kedalam bentuk grafik dapat dilihat di gambar 4.4 dibawah.



Gambar 4.4 Hubungan Perubahan biaya Investasi Terhadap NPV

Alternatif tersebut akan menjadi tidak layak bila perubahan nilai investasi menyebabkan nilai NPV menjadi lebih kecil dari nol. NPV akan sama dengan nol bila besarnya investasi adalah:

P = 449.915.700.000 *(P/A, 15%, 15)
= 449.915.700.000 *(5.8474)
= 2.630.837.064.180

Jadi, investasi tersebut menjadi tidak layak bila investasi yang dibutuhkan lebih dari Rp. 2.630.837.064.180 atau meningkat sebesar 182% dari investasi awal yang diestimasikan sebesar Rp 932.000.300.000

4.6.2 Eskalasi tingkat bunga sampai ± 80%, dari tingkat bunga yang digunakan, maka nilai NPV akan menjadi:

a. Tingkat Suku Bunga berkurang 60%
NPV = -932.000.300.000 + 449.915.700.000 (P/A, 6%, 15)
= - 932.000.300.000 + 449.915.700.000 (9.712)
= - 932.000.300.000 + 4.369.581.278.400
= 3.437.580.978.400

b. Tingkat Suku Bunga berkurang 40%
NPV = - 932.000.300.000 + 449.915.700.000 (8.061)
= - 932.000.300.000 + 3.626.770.457.700
= 2.694.770.157.700

c. Tingkat Suku Bunga berkurang 20%
NPV = - 932.000.300.000 + 449.915.700.000 (6.811)
= - 932.000.300.000 + 3.064.375.832.700
= 2.132.375.532.700

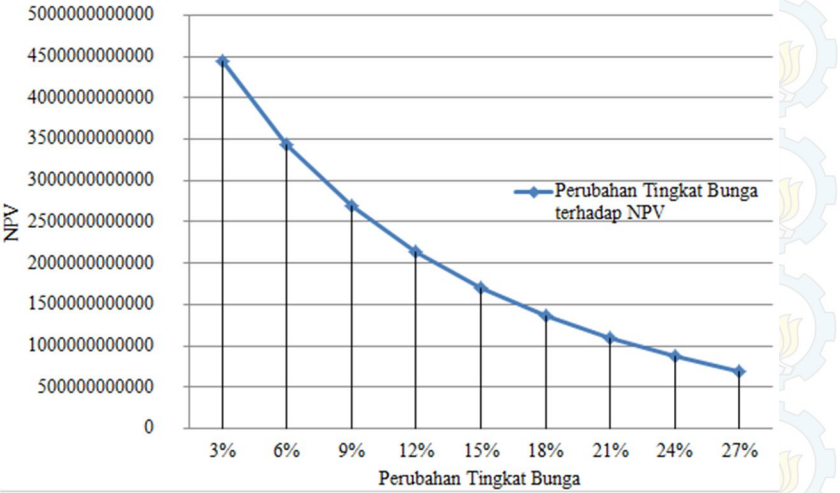
d. Tingkat Suku Bunga bertambah 20%
NPV = -932.000.300.000 + 449.915.700.000 (5.092)
= - 932.000.300.000 + 2.290.970.744.400
= 1.358.970.444.400

e. Tingkat Suku Bunga bertambah 40%
NPV = - 932.000.300.000 + 449.915.700.000 (4.489)
= - 932.000.300.000 + 2.019.671.577.300
= 1.087.671.277.300

f. Tingkat Suku Bunga bertambah 60%
NPV = - 932.000.300.000 + 449.915.700.000 (4.001)

= - 932.000.300.000 + 1.800.112.715.700
= 868.112.415.700

Untuk perhitungan lebih detail terdapat di Lampiran C.2.Bila di plot kedalam bentuk grafik dapat dilihat di gambar 4.5 dibawah.



Gambar 4.5 Hubungan Perubahan Tingkat Bunga Terhadap NPV

Alternatif tersebut akan menjadi tidak layak bila NPV lebih kecil dari 0. Batas perubahan ini akan diperoleh dengan menghitung nilai IRR, yaitu suatu tingkat bunga yang menyebabkan NPV = 0. NPV = 0 jika:

NPV = -932.000.300.000 + (522.288.000.000– 72.372.300.000)*(P/A, i%, 15)
0 = -932.000.300.000 + (522.288.000.000– 72.372.300.000)*(P/A, i%, 15)
(P/A, i%, 15) = 2,07
i = 47,63%

Jadi, keputusan akan berubah jika i menjadi lebih besar dari 47,63% atau bila meningkat sekitar 217% dari nilai i awal yang ditetapkan sebesar 15%.

4.6.3 Eskalasi Pendapatan sampai ± 100%, dari Pendapatan yang didapat, maka nilai NPV-nya akan menjadi:

a. Pendapatan berkurang 60%

NPV = -932.000.300.000 + 136.542.900.000 (P/A, 15%, 15)
= -932.000.300.000 + 136.542.900.000 (5.8474)
= -932.000.300.000 + 798.420.953.460
= -133.579.346.540

b. Pendapatan berkurang 40%

NPV = -932.000.300.000 + 241.000.500.000 (5.8474)
= -932.000.300.000 + 1.409.226.323.700
= 477.226.023.700

c. Pendapatan berkurang 20%

NPV = -932.000.300.000 + 345.458.100.000 (5.8474)
= -932.000.300.000 + 2020031693940
= 1.088.031.393.940

d. Pendapatan bertambah 20%

NPV = -932.000.300.000 + 554.373.300.000 (5.8474)
= -932.000.300.000 + 3.241.642.434.420
= 2.309.642.134.420

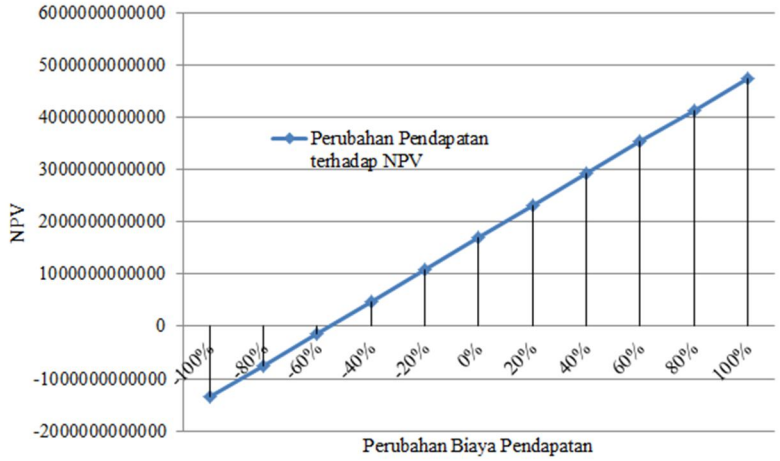
e. Pendapatan bertambah 40%

NPV = -932.000.300.000 + 658.830.900.000 (5.8474)
= -932.000.300.000 + 3.852.447.804.660
= 2.920.447.504.660

f. Pendapatan bertambah 60%

NPV = -932.000.300.000 + 763.288.500.000 (5.8474)
= -932.000.300.000 + 4.463.253.174.900
= 3.531.252.874.900

Untuk perhitungan lebih detail terdapat di Lampiran C.3. Hubungan antara besarnya perubahan pendapatan tahunan ± 100% terhadap nilai NPV dari alternatif tersebut diperlihatkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hubungan Perubahan Pendapatan Terhadap NPV

Alternatif tersebut akan menjadi tidak layak bila perubahan Pendapatan per tahun mengakibatkan nilai NPV kurang dari nol.

P = -72.372.300.000*(P/A, 15%, 15) + 522.288.000.000*(P/A, 15%, 15)

= 449.915.700.000

Jadi, biaya pendapatan menjadi tidak layak bila turun sebesar 69% per tahun atau sekitar Rp. 360.378.720.000

DAFTAR PUSTAKA

Akudo, C.O. 2008. *Quantification of Tars and Particulates from A Pilot Scale, Downdraft Biomass Gasifier*. Master of Science. Thesis in Biological and Agricultural Engineering, Faculty of the Louisiana State University ang Agricurtural and Mechanical College.

Badan Pusat Statistika. 2002. informasi data pokok kota surabaya tahun 2012. Surabaya

Badan Pusat Statistik. 2012. "Jumlah penduduk menurut kecamatan dan jenis kelamin series tahun", <URL:http://surabayakota.bps.go.id/index.php?hal=tabel &id=4>

Buku Putih Indonesia 2005-2025. 2006. "Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi bidang Sumber Energi baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025" Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia. Jakarta

Belgiorno, V., De Feo, G., Rocca, C., D. dan Napoli, R., M., A. 2003. "Energy from Gasification of Solid Wastes". Waste Management 23. 1–15.

Belonio, Alexis T. 2005. *Rice Husk Gas Stove Hand Book.* Philippines: Departement of Agricultural Engineering and Enviromental Management College of Agricultural Central Philippine University Iloilo City

Cherubini, F., Bargigli, S., Ulgiati, S. 2008. "Life Cycle Assessment Of Urban Waste Management: Energy Performances and Environmental Impacts". The case of Rome, Italy. Waste Management 28, 2552–2564.

Chopra, S. and A. Jain. 2007. A review of fixed bed gasification systems for biomass. Agric. Eng. Int.: the CIGR E-journal IX(5)

Ciferno, J. P. and J. J. Marano. 2002. Benchmarking biomass gasification technologies for fuels, chemicals and hydrogen production. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Energy, National Energy Technology Laboratory.

Dinas Kebersihan Kota Surabaya. 2001. Dalam Profil Kota Surabaya. Surabaya. Jawa timur

Dinas Kebersihan dan Pertamanan, 2012 dalam Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Surabaya Tahun 2012. Balai Lingkungan Hidup. 2012

Dinas Pendapatan Dan Pengelolaan Keuangan.. 2008. Gambaran Umum Dan Kondisi Wilayah Kota Surabaya 2010. Surabaya

Faaij, Andre . 2006. *Modern Biomass Conversion Technologies.* Mitigation and Adaptation Strategis for Global Change 11 : 343 - 375

Fahimah. Is. 2004. "Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Komposisi Biofuel Hasil Pirolisis Serbuk Kayu" Dosen Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta. LOGIKA, Vol. 1, No. 1, ISSN: 1410-2315

Febijanto, I. 2011. "Kajian Teknis &Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Biomasa Sawit; Kasus: Di Pabrik Kelapa Sawit Pinang Tinggi, Sei Bahar, Jambi". Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi, Deputi Teknologi Informatika, Energi dan Mineral- BPPT. Jakarta. Vol. 02, No 1, pp 11-22, 2011

Hulteberg, C. *An Introduction to Biomass Gasification*. s.l.: Lund Institute of Technology, 2010.

Pujawan, Nyoman I,. Ekonomi Teknik. Cetakan Pertama. Edisi Kedua. 2009

Janajreh, I., Raza, I. I., Valmundsson, A.S. 2012. "Plasma gasification process: Modeling, simulation and comparison". Energy Conversion and Management xxx.xxx-xxx.

Jayah, T.H., Aye, L., Fuller, R.J., dan Stewart, D.F. (2003). Computer simulation of downdraft wood gasifier for tea drying. *Journal of Biomass and Bioenergi, Vol 25, pp 459-469*.

Korhaliller, S. 2010. *The UK's Biomass Energy Development Path*. International Institute for Environment and Development (IIED).

Nikmah L.. 2013. Prediksi Potensi Pencemaran Pengolahan Sampah dengan Metode Gasifikasi *Fluidized Bed* (Studi Kasus: TPA Benowo, Surabaya). Kampus ITS. Surabaya

Liamsanguan, C. dan Gheewala, S.H. 2008. "The Holistic Impact of Integrated Solid Waste Management on Greenhouse Gas Emissions in Phuket". Journal of Cleaner Production. 16.1865-1871.

L. Wang, C. L. Weller, D. D. Jones, and M. A. Hanna, "*Contemporary issues in thermal gasification of biomass and its application to electricity and fuel production*," *Biomass and Bioenergy*, vol. 32, no. 7, pp. 573–581, 2008.

Mastok. 2012. “Gasifikasi Biomassa untuk Energi Alternatif”. <URL: http://baltyra.com/2012/03/15/gasifikasi-biomassa-untuk-energi-alternatif/>

Milne, T.A., R.J. Evans, *Biomass Gasifier “Tars”: Their Nature, Formation, and Conversion*, National Renewable Energy Laboratoty, 1998

Morf P., Secondary Reactions of Tar during Thermochemical Biomass Conversion, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland, 2001.

Nussbaumer T., Technische Energienutzung von Biomasse, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland, 2004.

Partha, I. G. C.. 2010. Penggunaan Sampah Organik Sebagai Pembangkit Listrik di TPA Suwung – Denpasar. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomer 18 Tahun 2008 Tentang Pengolahan Sampah.

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomer 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional

Purwanto, W.W., *et al.* 2010. *The Identification of Biomass Resources Characteristics and Bio-pellet Petency in Indonesia*. *The 1st International Seminar on Fundamental & Application Chemical Engineering*, ISFAChE 2010, September 3-4, 2010, Bali.

Putri. G. A 2009. Pengaruh Variasitemperatur Gasifying Agent II Media gasifikasi terhadap Warna dan Temperatur Api Pada gasifikasi Reaktor Downdraft dengan Bahan Baku Tongkol Jagung. ITS. Surabaya

R. Rauch, C. Pfeifer, K. Bosch, H. Hofbauer, D. Swierczynski, C. Courson, A. Kiennemann, Comparison of different olivines for biomass steam gasification, in: Proceedings of the Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion, Victoria, Canada, 2004, 30th August to 2nd September.

Sinarep. 2011. Perancangan Reaktor Gasifikasi Batubara pada Pengeringan Daun Tembakau Virginia di NTB (*Coal Gasification Reactor Design on the Drying of Tobacco Leaves in Virginia NTB).* Jurusan Teknik Mesin, Universitas Mataram. Mataram

Stassen, H.E.M. and H.A.M. Knoef. 1995. Small-scale Gasification System. The Netherlands: Biomass Technology Group

Sudarman. 2010. Meminimalkan Daya Dukung Sampah Terhadap Pemanasan Global. Jurusan Teknik Mesin, FT Universitas Negeri Semarang. Semarang

V. Swaaij, W., Stassen, H., Prins, W.: Thermal conversion of biomass into secondary products – the case of gasification and pyrolysis, presented at the 12th European conference on Biomass and Waste, Amsterdam, 2002

Vogel, M. Bolhàr-Nordenkampf, M. Kaltschmitt, H. Hofbauer, R. Berger, A. Kather, M. Kübel, B. Staiger, L. Wiese, Analyse und Evaluierung der thermo-chemischen Vergasung von Biomasse, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, Germany, 2006.

Winayanti, I. 2009. Studi Produksi Gas Metan(CH4) dan Karbondioksida (CO2) dari Timbunan Sampah. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Surabaya.

Winaya, I.N.S., Sucipta, M., dan Susila, I. D. M. 2011. "Pengaruh Temperatur Operasi Dan Kecepatan Superfisial Terhadap Komposisi Gas Produser Pada Gasifikasi Fluidized Bed Berbahan Bakar Sampah Terapung". Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra Vol 5. Halaman 85-90.

Zurich Eth. Electricity from wood through the combination of gasification and solid oxide fuel cells systems analysis and proof-of-concept. 2008. The federal republic of Germany

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan analisa diperoleh bahwa estimasi timbunan sampah organik di Surabaya tahun 2012 mencapai 454220,38 ton/tahun. dengan rata-rata produksi sampah mencapai 1245 ton/hari.
2. Aspek Teknik, potensi Biomassa yang ada di Surabaya bisa digunakan sebagai bahan bakar pembangkit energi listrik berkapasitas 124 MW menggunakan metode gasifikasi.
3. Aspek lingkungan, pemanfaatan biomassa sebagai pembangkit menghasilkan 687813,12 tCO_2/tahun.
4. Aspek ekonomi, analisa biaya investasi sebesar Rp 932.000.300.000. Pada suku bunga 15% biaya investasi dapat dikembalikan pada tahun ke – 3 sehingga investasi layak dibangun dengan nilai IRR 47,63%.
5. Berdasarkan analisa sensitivitas yang digunakan untuk perubahan biaya investasi berpengaruh terhadap NPV. NPV dikatakan tidak layak jika mengalami perubahan 182 % dari investasi awal, tingkat suku bunga yang digunakan lebih dari 47,63% dan biaya pendapatan turun hingga 69% pertahun.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini untuk penelitian yang selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Diperlukannya pengkajian lebih lanjut mengenai manajemen resiko pembangunan PLT Biomassa di Surabaya.
2. Diperlukannya pengkajian lebih lanjut mengenai pemanfaatan produk samping yang berupa bahan kimia pada PLT Biomassa.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran A
Biaya Pengeluaran

Tabel A.1 Biaya Investasi

Kapasitas (kW)	**124000**
Kapasitas (ton/Jam)	51,875
Capital Cost (10^3 US$)	
Peralatan Gasifier	45.474
Gas Engine System	24.403,2
Fitting	2.287,8
Bangunan	4.972
Instalasi	7.578
Perizinan	12,3
Total Biaya pembelian dan Pemasangan ($)	84.727,3
Rupiah (11.000)	932.000.300.000

Tabel A.2 Biaya Operasional dan Maintanance

Operating Costs	**Quantity ($)**
OM (10^3 US$)	
Pekerja	960
Pemeliharaan	2.368,5
Bahan Baku	3.250,8
Sub-total Biaya Operasional	6.579,3
Rupiah (11.000)	72.372.300.000

Lampiran B
Perhitungan *Cashflow*

Tabel B.1 Perhitungan NPV

Thn ke-	CIF (Awal)	OM (Awal)	Biaya Pembangkit	CIF * Diskon	(OM)*Diskon	Diskon	Defisit
0	0	0	932000300000	0	0		-932000300000
1	522288000000	72372300000	932000300000	454163478261	62932434783	0.869565217	-540769256522
2	522288000000	72372300000	540769256522	849088241966	117656291115	1.625708885	190662694329
3	522288000000	72372300000	-190662694329	1192501079970	165242253144	2.283225117	1217921521156
4	522288000000	72372300000	-1217921521156	1491120939105	206621350560	2.854978363	2502421109701
5	522288000000	72372300000	-2502421109701	1750790381830	242603174400	3.352155098	4010608317131
6	522288000000	72372300000	-4010608317131	1976589897244	273891716869	3.784482694	5713306497505
7	522288000000	72372300000	-5713306497505	2172937301951	301099145104	4.160419734	7585144654352
8	522288000000	72372300000	-7585144654352	2343674175610	324757778351	4.487321508	9604061051611
9	522288000000	72372300000	-9604061051611	2492141022269	345330502914	4.77158392	11750871570966
10	522288000000	72372300000	-11750871570966	2621242628060	363219828621	5.018768626	14008894370405
11	522288000000	72372300000	-14008894370405	2733504893965	378775764018	5.233711849	16363623500352
12	522288000000	72372300000	-16363623500352	2831124255622	392302664364	5.420618999	18802445091611
13	522288000000	72372300000	-18802445091611	2916010657063	404065186403	5.583146955	21314390562270
14	522288000000	72372300000	-21314390562270	2989824919185	414293466438	5.724475613	23889922015018
15	522288000000	72372300000	-23889922015018	3054011234074	423187622989	5.847370099	26520745626102

Lampiran C
Analisis Sensitivitas

Tabel C.1 Perubahan Biaya Pembangkit sampai ±100%

Interval (%)	Investasi	OM	CIF	CIF - OM	(I = 15%)	(CIF-OM)*(i)	(((CIF-OM)*(i))-Investasi)
-100%	0	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	2630837064180
-80%	186400060000	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	2444437004180
-60%	372800120000	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	2258036944180
-40%	559200180000	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	2071636884180
-20%	745600240000	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	1885236824180
0%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	1698836764180
20%	1118400360000	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	1512436704180
40%	1304800420000	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	1326036644180
60%	1491200480000	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	1139636584180
80%	1677600540000	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	953236524180
100%	1864000600000	72372300000	522288000000	449915700000	5.8474	2630837064180	766836464180

Tabel C.2 Perubahan Tingkat Bunga sampai ± 80%

kenaikan (%)	Investasi	OM	CIF	CIF - OM	(CIF - OM)* (P/A, i%, 15)	(I = %)	(((CIF-OM)* (i))-Investasi)
3%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	5371093626600	11.938	4439093326600
6%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	4369581278400	9.712	3437580978400
9%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	3626770457700	8.061	2694770157700
12%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	3064375832700	6.811	2132375532700
15%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	2630657097900	5.847	1698656797900
18%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	2290970744400	5.092	1358970444400
21%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	2019671577300	4.489	1087671277300
24%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	1800112715700	4.001	868112415700
27%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	1620146435700	3.601	688146135700

Tabel C.3 Perubahan Pendapatan sampai ±100%

kenaikan (%)	Investasi	OM	CIF	CIF - OM	(CIF - OM)* (P/A, i%, 15)	(I = %)	(((CIF-OM)* (i))-Investasi)
-100%	932000300000	72372300000	0	-72372300000	-423189787020	5.847	-1355190087020
-80%	932000300000	72372300000	104457600000	32085300000	187615583220	5.847	-744384716780
-60%	932000300000	72372300000	208915200000	136542900000	798420953460	5.847	-133579346540
-40%	932000300000	72372300000	313372800000	241000500000	1409226323700	5.847	477226023700
-20%	932000300000	72372300000	417830400000	345458100000	2020031693940	5.847	1088031393940
0%	932000300000	72372300000	522288000000	449915700000	2630837064180	5.847	1698836764180
20%	932000300000	72372300000	626745600000	554373300000	3241642434420	5.847	2309642134420
40%	932000300000	72372300000	731203200000	658830900000	3852447804660	5.847	2920447504660
60%	932000300000	72372300000	835660800000	763288500000	4463253174900	5.847	3531252874900
80%	932000300000	72372300000	940118400000	867746100000	5074058545140	5.847	4142058245140
100%	932000300000	72372300000	1044576000000	972203700000	5684863915380	5.847	4752863615380