

**SIMULASI PROFIL GAS DAN POTENSI ENERGI DARI PEMBAKARAN SAMPAH PADAT KOTA
PADA MODEL BED DARI INSINERATOR MOVING GRATE**

***SIMULATION OF GAS PROFILE AND POTENTIAL ENERGY FROM COMBUSTION OF
MUNICIPAL SOLID WASTE ON BED MODEL FROM MOVING GRATE INCINERATOR***

Chaidir Azwin¹, M Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si.², Sugianto, S.T., M.Eng³

^{1,2} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³ Prodi Teknik Aeronautika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

chaidirrr@gmail.com, jakasantang@gmail.com, sugizaps@gmail.com

Abstrak

Sampah merupakan suatu tantangan besar yang sekarang dihadapi hampir oleh seluruh kota besar di Indonesia, khususnya kota Bandung. Dengan meningkatnya jumlah penduduk, akan berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah timbulan sampah. Timbulan sampah masyarakat kota Bandung diproyeksikan sebesar 1.549 ton/hari dengan jumlah penduduk 2.748.732 jiwa dan dengan produksi sampah 1100 ton/hari. Selama ini pengolahan sampah dilakukan dengan cara di timbun. Salah satu alternatif metode pengolahan sampah adalah insinerasi, dengan proses insinerasi dapat mengurangi volume sampah dalam jumlah yang besar dengan waktu yang relatif singkat. Teknologi insinerasi yang tepat dapat menurunkan potensi pencemaran yang ditimbulkan gas buang dan bahan padat sisa pembakaran. Insinerator adalah alat yang digunakan untuk proses insinerasi. Pada penelitian ini dilakukan simulasi pembakaran sampah padat kota pada model bed insinerator dengan data sampah kota Bandung yang divariasikan menjadi beberapa data untuk dijadikan perbandingan hasil potensi energi yang dihasilkan dan bagaimana profil gas yang dihasilkan dari pembakaran pada model bed insinerator tersebut. Pada penelitian ini simulasi dilakukan dengan lima data sampah dimana potensi energi terbesar diperoleh dengan nilai 15.259 Mega watt dan dihasilkan beberapa kandungan gas dimana gas berbahaya yang dihasilkan adalah gas CO (Karbon Monoksida) dan di konversi ke indeks standart polutan udara (ISPU) dan masuk kategori "Sangat Tidak Sehat".

Kata Kunci : Insinerasi, Sampah padat kota, Profil temperatur, ISPU, CO

Abstract

Trash is a biggest challenge currently facing almost the whole country in Indonesia, specially Bandung city. With increased the number of residents is directly proportional to the increasing number of pileup trash. The pileup trash of populations in Bandung city has projected up to 1.549 tons/day with the number of populations reached 2.748.732 persons and the number of trash production reach 1100 tons/day. During this waste management by means of hoarded. One of alternative metode to manage this waste is incineration, with incineration process can decreased the volume of waste in large quantities with a relatively short time. The correct technology incineration can decreased contamination potential who inflicted the exhaust gases and solid material chemical residue. Incinerator is a tools who used for incineration process. In this research doing combustion simulation municipal solid waste on bed incinerator model according to the waste data of Bandung city who variated to be some of the data for the comparison of the potential energy produced and how profile gases generated of combustion on the bed incinerator model. In this simulation research doing with five waste data where the biggest potential energy was reached 15.259 Mega watt and generated from some gas content where dangerous gas produced are CO (Carbon Monoxide) and in conversion to standart index air pollutants and included in the catagory "Very Unhealthy".

Keywords : Incineration, MSW, Temperature profile, Air pollution standart, CO

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Indonesia masih menghadapi persoalan dalam mencapai target pembangunan bidang energi. Ketergantungan terhadap energi fosil terutama minyak bumi dalam pemenuhan konsumsi di dalam negeri masih tinggi yaitu

sebesar 96% (minyak bumi 48%, gas 18% dan batubara 30%) dari total konsumsi dan upaya untuk memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan belum dapat berjalan sebagaimana yang direncanakan. Solusi dari permasalahan tersebut adalah energi terbarukan, salah satunya adalah dengan pembangunan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah), disamping kebutuhan energi yang terpenuhi, penanggulangan sampah dapat diatasi. Tentu dengan pengelolaan sampah yang baik untuk menghasilkan energi yang optimal.^[1] Pengelolaan sampah yang optimal merupakan suatu tantangan besar yang sekarang dihadapi hampir oleh seluruh kota besar di Indonesia, khususnya kota Bandung. Dengan meningkatnya jumlah penduduk, akan berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah timbulan sampah. Oleh karena itu pengelolaan sampah yang optimal harus mengikuti peningkatan tersebut sehingga masalah sampah tidak menyebabkan kerusakan lingkungan dan penurunan kualitas kesehatan masyarakat. Timbunan sampah masyarakat kota Bandung diproyeksikan sebesar 1.549 ton/hari dengan jumlah penduduk pada tahun 2014 sebanyak 2.748.732 dan sampah yang terangkut ke tempat pemrosesan akhir (TPA) sebesar kurang lebih 1100 ton/hari, dengan komposisi sampah organik 57% dan anorganik 43%.^[2] Selama ini pengolahan sampah dilakukan dengan cara ditimbun (landfill), sebagian kecil (3%) dimanfaatkan sebagai kompos atau didaur ulang dan diolah menjadi gas metana. Namun sisa volume sampah yang belum dimanfaatkan masih sangat besar. Pada hari mendatang sisa sampah akan menjadi permasalahan, terutama tentang ketersediaan lahan pembuangan yang semakin terbatas.^[2] Salah satu alternatif metode pengolahan sampah yang diterapkan adalah insinerasi, dengan proses insinerasi dapat mengurangi volume sampah dalam jumlah yang besar dengan waktu yang relatif singkat. Pemilihan teknologi insinerasi yang tepat dapat menurunkan potensi pencemaran yang ditimbulkan gas buang dan bahan padat sisa pembakaran. Proses insinerasi terjadi didalam insinerator, dimana insinerator adalah bagian dari pembangkit listrik tenaga sampah (PLTS). Pada insinerator terdapat sebuah bed untuk proses pembakaran yang akan dimodelkan dimana dalam model *bed* terdapat beberapa proses pembakaran yang akan dilalui oleh sampah padat yang sebelumnya telah diolah menjadi briket padat sampah. Banyak jenis dari insinerator itu sendiri dimana perbedaan terdapat pada *bed* yang digunakan didalam insinerator seperti insinerator *fixed bed*, insinerator *rotary klin* dan insinerator *moving grate*. Tugas akhir ini fokus untuk mensimulasikan untuk model *bed* dari insinerator *moving grate* karena sampah yang dipakai sebagai biomassa adalah sampah padat kota dengan jumlah banyak direkomendasikan untuk model *bed* dari insinerator jenis *moving grate*. Dimana *moving grate* terdapat beberapa proses pembakaran yang berbeda beda suhu pada setiap prosesnya yang mengoptimalkan pembakaran untuk jumlah sampah dengan kuantitas besar. Proses untuk pembakaran pada model *bed* pada insinerator adalah zona pengeringan, zona pembakaran, zona pirolisa dan zona gasifikasi.^[2] Maka dalam tugas akhir ini fokus pada pembuatan model *bed* insinerator, simulasi profil gas dan suhu yang dihasilkan pada model *bed* dan mendapatkan potensi listrik yang dapat dihasilkan.

1.2 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui profil gas, temperatur dan kecepatan gas dari proses insinerasi dalam model *bed*.
2. Mengetahui potensi energi yang bisa dihasilkan dari model *bed*.
3. Mengetahui nilai ambang batas indeks standart polutan udara yang dihasilkan dari model *bed*.

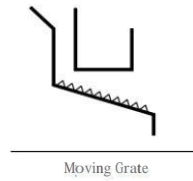
2. Dasar Teori

2.1 Insinerasi

Insinerasi merupakan suatu teknologi pengolahan limbah yang melibatkan pembakaran limbah pada temperatur tinggi. Teknologi insinerasi dan sistem pengolahan limbah temperatur tinggi lainnya digambarkan sebagai "perlakuan termal". Pada hakekatnya, insinerasi barang-barang sisa atau sampah mengkonversi limbah menjadi panas yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi seperti listrik. Salah satu cara teknologi pengolahan limbah adalah dengan teknologi insinerasi, dan alat yang digunakan biasa disebut dengan insinerator. Pengolahan limbah dengan insinerator terutama bertujuan untuk mengurangi volume dari limbah itu sendiri sampai sekecil mungkin, kemudian juga untuk mengolah limbah tersebut supaya menjadi tidak berbahaya bagi lingkungan serta stabil secara kimia.^[3]

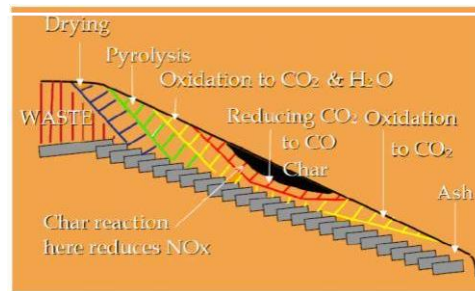
2.1.1 Insinerator Moving Grate

Insinerator *moving grate* adalah insinerator dengan tipe membawa bahan bakar atau sampah bergerak dengan rel secara otomatis jadi sampah terus berjalan dan terbakar dan langsung ada dibawah tungku pembakaran, sampah yang padat memasuki insinerator *moving grate* akan melawati beberapa zona yaitu zona pengeringan, zona gasifikasi, zona pirolisis, zona oksidasi dan zona reduksi.^[4]



Gambar 2. 1 Insinerator Moving grate

Gambar di atas menunjukkan bentuk dari insinerator moving grate yang dilengkapi dengan konveyor untuk mengalirkan sampah tersebut.^[4]



Gambar 2. 2 Zona zona didalam proses insinerasi

Gambar diatas menunjukkan proses proses yang akan terjadi pada insinerator moving grate. Dimulai dari daerah pengeringan, pirolisis, pembakaran dan reduksi hingga menjadi arang.^[5]

2.1.2 Pirolisis

Pirolisis atau devolatilisasi disebut juga sebagai gasifikasi parsial. Suatu rangkaian proses fisik dan kimia terjadi selama proses pirolisis yang dimulai secara lambat pada $T < 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan terjadi secara cepat pada $T > 700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Selama pirolisis, kelembaban menguap pertama kali (100°C), kemudian hemiselulosa terdekomposisi ($200\text{-}260^{\circ}\text{C}$), diikuti oleh selulosa ($240\text{-}340^{\circ}\text{C}$) dan lignin ($280\text{-}500^{\circ}\text{C}$). Ketika suhu mencapai 500°C , reaksi pirolisis hampir selesai. Oleh karena itu, pada laju pemanasan 10°C/dtk , pirolisis selesai dalam 1 menit, atau pirolisis selesai dalam 5 detik pada 100°C/dtk . Semakin tinggi laju pemanasan semakin mempercepat pembentukan produk yang mudah menguap, meningkatkan tekanan, waktu tinggal yang pendek dari produk yang mudah menguap di dalam reaktor, dan hasil produk cair yang lebih tinggi dinamakan pirolisis cepat atau pirolisis kilat. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (polyaromatic hydrocarbon). Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2 , CO , CO_2 , H_2O , dan CH_4), tar, dan arang^[5]. Jumlah dan distribusi produk zona pirolisa dapat dihitung dari persamaan model Neves seperti ditunjukkan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix}
 V_{CO} & V_{CO_2} & V_{CH_4} & V_{C_2H_6} & 0 & 0 & V_{H_2O} & V_{H_2} & V_{tar} \\
 V_{CO} & V_{CO_2} & V_{CH_4} & V_{C_2H_6} & 0 & 0 & V_{H_2O} & V_{H_2} & V_{tar} \\
 V_{CO} & V_{CO_2} & V_{CH_4} & V_{C_2H_6} & 0 & 0 & V_{H_2O} & V_{H_2} & V_{tar} \\
 V_{CO} & V_{CO_2} & V_{CH_4} & V_{C_2H_6} & 0 & 0 & V_{H_2O} & V_{H_2} & V_{tar} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \cdot
 \begin{bmatrix}
 V_{CO} \\
 V_{CO_2} \\
 V_{CH_4} \\
 V_{C_2H_6} \\
 0 \\
 0 \\
 V_{H_2O} \\
 V_{H_2} \\
 V_{tar}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 V_{CO} \\
 V_{CO_2} \\
 V_{CH_4} \\
 V_{C_2H_6} \\
 0 \\
 0 \\
 V_{H_2O} \\
 V_{H_2} \\
 V_{tar}
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 & -\Omega_1 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & -1 & 0,146 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \cdot
 \begin{bmatrix}
 V_{CO} \\
 V_{CO_2} \\
 V_{CH_4} \\
 V_{C_2H_6} \\
 0 \\
 0 \\
 V_{H_2O} \\
 V_{H_2} \\
 V_{tar}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 V_{CO} \\
 V_{CO_2} \\
 V_{CH_4} \\
 V_{C_2H_6} \\
 0 \\
 0 \\
 V_{H_2O} \\
 V_{H_2} \\
 V_{tar}
 \end{bmatrix}$$

Dimana : $j = \text{C,H,O}$
 $\Omega_1 = Y_{H_2,F} / Y_{CO,F}$
 $\Omega_2 = Y_{H_2}$
 $F = \text{Umpan}$

Dengan mengacu persamaan matriks , komposisi gas buang CO , CO_2 , CH_4 , C_xH_y , H_2 , H_2O dan tar dapat dihitung dari penyelesaian persamaan matriks ini. Untuk menyelesaikan matriks ini diperlukan data untuk matriks satu dan matriks tiga, yang harganya tergantung dari suhu gas buang dan komposisi kimia C, H, O sampah.

Suhu gas buang dapat diketahui dari pengukuran atau diprediksi berdasarkan perhitungan. Prediksi suhu gas buang pembakaran dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = (-HHV) \cdot n + \sum \{ C_{pm} (T - T_{in}) \} + \sum \{ n_{air} (\Delta H_v) \} + \sum \{ C_{pm} (T - T_{in}) \}$$

(2.2)

Dimana :

- HHV = Hight Heating Value
- n = mol
- Cpm = Kapasitas Panas Molar
- T = Suhu gas buang
- T_{in} = Suhu umpan masuk
- ΔH_v = Panas latent penguapan
- n, air = Mol air
- i = Bahan bakar, udara
- j = CO, CO₂, N₂, H₂O, HCl, SO₄

2.2 Karakteristik Fisis dan Kimiawi Sampah Kota Bandung

Berdasar data yang diperoleh dari PD Kebersihan selama 8 hari berturut-turut di tiap TPS per kecamatan maka rata-rata timbulan sampah kota Bandung adalah 2.403,43 m³/hari. Data ini adalah data timbulan sampah yang dibuang di TPS kota Bandung sebelu diambil oleh pemulung.^[6] Pengujian karakteristik kimiawi sampah kota Bandung ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan beberapa sampel yang mewakili komponen-komponen sampah kota Bandung. Hasil pengujian untuk karakteristik kimiawi dapat dilihat pada gambar 2.3 dan 2.4 di bawah. Dari gambar tersebut terlihat bahwa sampah Bandung memiliki komposisi zat terbang yang relatif tinggi. Komposisi zat terbang ini menimbulkan permasalahan *slagging* pada *boiler*.^[6]

3. Metode Penelitian

3.1 Alir Penelitian

Berikut adalah alir penelitian secara umum:

1. Sampling Data Sampah
Mengumpulkan data hasil pengujian sampah yang telah dilakukan dan memvariasikan data sampah tersebut.
2. Desain Model *Bed*
Penetapan desain model bed dengan ketinggian dan panjang bed yang akan disimulasikan.
3. Definisi Briket Sampah
Penetapan ukuran briket sampah yang akan masuk ke dalam insinerator model *bed*.
4. Menentukan Panjang Pembakaran dan Kapasitas Sampah
Penetapan temperatur pada zona zona pembakaran dan jumlah sampah yang akan dibakar.
5. Menjalankan Simulasi
Dalam proses ini mulai menjalankan simulasi dengan parameter yang sudah ditetapkan.
6. Pengambilan Data
Mengambil data hasil simulasi seperti profil gas yang dihasilkan model *bed* dan nilai kalor yang dihasilkan oleh model *bed*.
7. Analisis
Analisis dilakukan dengan membandingkan kelima data hasil simulasi dengan parameter gas dan nilai kalor yang dihasilkan lalu gas yang dianggap berbahaya dikonversi menjadi indeks standar polutan udara yang berlaku di Indonesia.

3.2 Model Pembakaran

Pada dasarnya, ruang bakar utama dipisahkan menjadi 3 daerah, yaitu daerah pengeringan, daerah pembakaran dan daerah pembakaran buang. Seperti yang tercantum dalam mekanisme pembakaran sampah padat di atas, tahap pertama adalah tahap pengeringan, di mana udara panas pada suhu di bawah pengapian diumpankan ke dalam bahan bakar. Kecepatan udara harus lebih tinggi daripada yang lain untuk menyebarkan uap dari bahan bakar. Tujuan utama dari tahap ini adalah untuk mengurangi sebanyak – banyaknya bentuk kelembaban pada bahan bakar. Hal ini untuk meningkatkan pembakaran secara merata. Dengan kurangnya kadar kelembaban, tingkat pembakaran sampah pada kota dapat dibuat lebih cepat dan lebih efisien. Berikutnya adalah daerah pembakaran di mana semua tahap pembakaran bergantung pada tahap ini dimana terjadi proses penghapusan air terikat, devolatilisasi dan hasil pembakaran yang menjadi arang. Pada tahap ini, devolatilisasi adalah reaksi dimana produk pirolisis dibakar, udara panas pada suhu yang lebih tinggi dan kecepatan rendah dimasukkan ke bahan bakar. Hal ini untuk memastikan semua volatil dapat diekstraksi secara penuh dan dibakar secara efisien. Pada akhir tahap ini, akan menghasilkan lebih banyak arang dari volatil. Pindah ke tahap akhir, daerah pembakaran buang, dimana arang tersisa dibakar sepenuhnya dengan masukan oksigen tinggi dan diisi oleh udara panas. Dari sini kita dapat membayangkan cara kerja di dalam ruang bakar di mana didalam tahapan diruang bakar terjadi proses yang berbeda. Jadi kita harus memastikan bahan bakar sampah padat kota sepenuhnya terinsinerasi dan meminimalisir emisi polutan yang dihasilkan.^[8]

3.3 Hasil Uji Proximate dan Ultimat Sampah Kota Bandung

Hasil data pengujian dari literatur pusat rekayasa LPPM ITB menunjukkan beberapa data hasil pengujian proximate dan ultimat. Data yang akan digunakan pada proses simulasi diambil dari data TPA 1 sebagai data acuan dan variasi data dengan kenaikan 2.5% , 5% , 7.5% dan 10%.

Tabel 3. 1 Data hasil Uji Proximat dari TPA 1

Uji Proximat sampah kota Bandung dari TPA 1	
Karbon Tetap	12 %
<i>Volatille Matter</i>	54 %
Abu	30 %
Kandungan Air	4 %

Tabel 3. 2 Data hasil Uji Ultimat dari TPA 1

Uji Ultimat sampah kota Bandung dari TPA 1	
Karbon	37.5 %
Hidrogen	3.5 %
Sulfur	0.9 %
Oksigen	55.5 %
Nitrogen	2.4 %
Klorin	0.3 %

Tabel 3. 3 Data hasil Uji Proximat dari TPA 1+2.5%

Uji Proximat sampah kota Bandung dari TPA 1+2.5%	
Karbon Tetap	13,19 %
<i>Volatille Matter</i>	51,37 %

Abu	29,54 %
Kandungan Air	5,9 %

Tabel 3. 4 Data hasil Uji Ultimat dari TPA 1+2.5%

Uji Ultimat sampah kota Bandung dari TPA 1+2.5%	
Karbon	32,01 %
Hidrogen	4,82 %
Sulfur	10,68 %
Oksigen	46,42 %
Nitrogen	3,91 %
Klorin	2,16 %

Tabel 3. 5 Data hasil rata-rata Uji Proximat dari TPA 1+5%

Uji Proximat sampah kota Bandung dari TPA 1+5%	
Karbon Tetap	14,17 %
<i>Volatille Matter</i>	49,17 %
Abu	29,17 %
Kandungan Air	7,5 %

Tabel 3. 6 Data hasil rata-rata Uji Ultimat dari TPA 1+5%

Uji Ultimat sampah kota Bandung dari TPA 1+5%	
Karbon	32,69 %
Hidrogen	6,54 %
Sulfur	4,54 %
Oksigen	46,54 %
Nitrogen	5,69 %
Klorin	4 %

Tabel 3. 7 Data hasil rata-rata Uji Proximat TPA 1+7.5%

Uji Proximat sampah kota Bandung dari TPA 1+7.5%	
Karbon Tetap	11.8 %
<i>Volatile Matter</i>	74.6 %
Abu	4.4 %
Kandungan Air	9.2%

Tabel 3. 8 Data hasil rata-rata Uji Ultimate TPA 1+7.5%

Uji Ultimat sampah kota Bandung dari TPA 1+7.5%	
Karbon	60.25 %
Hidrogen	7.25 %

3.4 FLIC

FLIC adalah software yang digunakan untuk memodelkan pembakaran pada model bed insinerator. Dimana software ini menghitung reaksi yang terjadi pada beberapa proses pembakaran yang terjadi. Terlebih dahulu kita harus mengetahui komposisi sampah pada yang akan digunakan untuk data masukan pada software. Data yang diperlukan antara lain adalah hasil uji proximate, uji ultimat pada sampah padat kota, menentukan nilai primary air, panjang bed model, waktu proses pembakaran dan jumlah sampah yang dibakar serta menentukan volume briket sampah padat yang akan masuk pada model bed.^[8]

Sulfur	0.35 %
Oksigen	28.8 %
Nitrogen	3.25 %
Klorin	0.4 %

Tabel 3. 9 Data hasil rata-rata Uji Proximat TPA 1+10%

Uji Proximat sampah kota Bandung dari TPA 1+10%	
Karbon Tetap	15,72 %
<i>Volatile Matter</i>	45,71 %
Abu	28,57 %
Kandungan Air	10 %

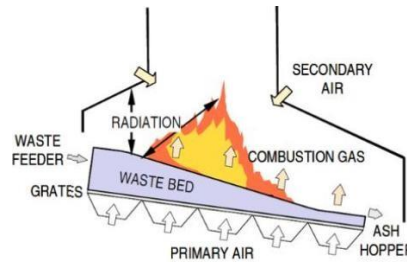
Tabel 3. 10 Data hasil rata-rata Uji Ultimate TPA 1+10%

Uji Ultimat sampah kota Bandung dari TPA 1+10%	
Karbon	29,69 %
Hidrogen	8,44 %
Sulfur	6,81 %
Oksigen	40,94 %
Nitrogen	7,75 %
Klorin	6,38 %

(Gas Aow Model)

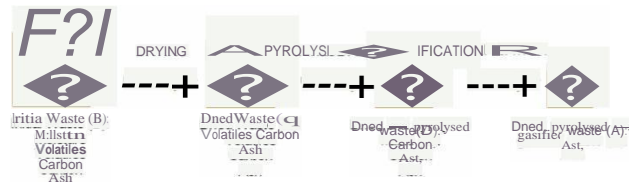
Gambar 3. 1 FLIC Simulation

Pada simulasi ini penulis fokus pada model pembakaran pada bed di insinerator dimana data temperatur, kecepatan udara dan profil gas dapat menjadi masukan untuk model gas seperti gambar diatas.



Gambar 3. 2 Skema pembakaran pada model bed insinerator.

Model penyelesaian persamaan untuk pembakaran di dalam FLIC merupakan kode yang ditulis oleh SUWIC atau Sheffield University of Waste Incineration Centre yang digunakan untuk mensimulasikan bed pembakaran sampah. Gambar 3.4 di bawah ini menunjukkan tahapan yang berbeda dalam pembakaran yang dapat dimodelkan menggunakan FLIC dan Gambar 3.5 menggambarkan profil dasar bed pembakaran dalam insinerator piringan bergerak (Moving Grate).^[9]



Gambar 3. 3 Tahapan mengubah model untuk volume sampah selama pembakaran.

4. Hasil dan Analisis

4.1 Hasil Simulasi

Setelah menjalankan simulasi dengan data proximate dan ultimate TPA1, TPA1+2.5%, TPA1+5%, TPA1+7.5%, TPA1+10% dengan rentang waktu 15 menit dan jumlah sampah 8,3 ton dihasilkan data sebagai berikut:

Moisture evaporated (339.899 k♦r)	= 102.4%
Initial water in waste (332.058 kglhr)	
Volable released (444329 k♦r)	= 99.12 %
Initial volatile in waste (4482.79 kglhr)	
Char burned (999.708 k♦lhr)	= 100.4%
Initial fixed-carbon in waste (996.175 kglhr)	
Total mass loss (5782.9 k♦r)	= 69.66 %
Initial waste weight (8301.46 kglhr)	
Heat Balance: Total ener21 in waste-feed= 15.5063 IAWI	
(1)Heat released from waste combustion	: 14.042 IAWI
(2)Remaining Chemical heat in nue-gas	: 1.24817 MWI
(3)Remaining Chemical heat in ash	: 8.6996e-008 MWI
(1) + (2) + (3)	= 15.2902 IAWI
(4)Heat transferred to over-bed by radiation	: 0.239447 MWI
(5)Heat carried by flue gas (sensible)	: 11.3601 Iwt
(6)Heat carried by exit-waste (sensible)	: 0.349616 Mwt
(7)Heat loss to side walls from gas phase	: 0 Mwt
(8)Heat loss to side walls from solid phase	: 0.218039 MWI
(4)+(5)+(6)+other heat loss	(9.96234e-002 IAWI)11.7879 M
Heat recovery efficiency from the waste	: 81.17 %

Gambar 4. 1 Data Group 2 TPA1

Moisture evaporated (495.301 k♦r)	= 101.1 %
Initial water in waste (490.091 kglhr)	
Volatile released (4255.2 k♦r)	= 99.72%
Initial volatile in waste (4267.12 kglhr)	
Char burned (1106.52 k♦r)	= 101. %
Initial fixed-carbon in waste (1095.64 kglhr)	
Total mass loss (5857.02 k♦r)	= 70.51 %
Initial waste weight (8306.63 kglhr)	
Heat Balance: Total ener21 in waste-feed= 17.4029 IAWI	
(1)Heat released from waste combustion	: 15.2593 Mwt
(2)Remaining Chemical heat in nue-gas	: 1.84902 Mwt
(3)Remaining Chemical heat in ash	: 6.9222e-009 Mwt
(1) + (2) + (3)	= 17.1083 Mwt
(4)Heat transferred to over-bed by radiation	: 0.516787 Mwt
(5)Heat carried bynue gas (sensible)	: 12.8516 Mwt
(6)Heat carried by exit-waste (sensible)	: 0.34674 Mwt
(7)Heat loss to side walls from gas phase	: 0 Mwt
(8)Heat loss to side walls from solid phase	: 0.252375 Mwt
(4)+(5)+(6)+other heat loss	(0.113359 IAWI)14.0808 Mwt
Heat recovery efficiency from the waste	: 88.89 %

Gambar 4. 2 Data Group 2 TPA1+2,5%

Moisture evaporated (627.236 kg/hr)	= 100.7 %
Initial water in waste (622.998 kg/hr)	
Volatile released (4042.48 kg/hr)	
Initial volatile in waste (4083.54 kg/hr)	= 98.99 %
Char burned (1166.12 kg/hr)	
Initial fixed-carbon in waste (1177.05 kg/hr)	= 99.07 %
Total mass loss (5835.83 kg/hr)	
Initial waste weight (8306.63 kg/hr)	= 70.26 %
Heat Balance: Total energy in waste-feed= 18.8648 MWt	
(1) Heat released from waste combustion	: 14.3561 MWt
(2) Remaining chemical heat in flue-gas	: 2.82587 MWt
(3) Remaining chemical heat in ash	: 7.72503e-002 MWt
(1) + (2) + (3)	= 17.2592 MWt
(4) Heat transferred to over-bed by radiation	: 0.263255 MWt
(5) Heat carried by flue gas (sensible)	: 12.7792 MWt
(6) Heat carried by exit-waste (sensible)	: 0.450898 MWt
(7) Heat loss to side walls from gas phase	: 0 MWt
(8) Heat loss to side walls from solid phase	: 0.246414 MWt
(4)+(5)+(6)+other heat loss (0.113526 MWt)	13.8533 MWt
Heat recovery efficiency from the waste	: 85.42 %

Gambar 4. 3 Data Group 2 TPA1+5%

Moisture evaporated (740.642 kg/hr)	= 100.6%
Initial water in waste (736.258 kg/hr)	
Volatile released (3873.18 kg/hr)	
Initial volatile in waste (3965.75 kg/hr)	= 97.67 %
Char burned (1167.59 kg/hr)	
Initial fixed-carbon in waste (1254.98 kg/hr)	= 93.04%
Total mass loss (5781.41 kg/hr)	
Initial waste weight (8366.57 kg/hr)	= 69.1 %
Heat Balance: Total energy in waste-feed= 19.878 MWt	
(1) Heat released from waste combustion	: 13.9004 MWt
(2) Remaining chemical heat in flue-gas	: 3.37285 MWt
(3) Remaining chemical heat in ash	: 0.605937 MWt
(1) + (2) + (3)	= 17.8792 MWt
(4) Heat transferred to over-bed by radiation	: 0.25501 MWt
(5) Heat carried by flue gas (sensible)	: 13.0639 MWt
(6) Heat carried by exit-waste (sensible)	: 0.513351 MWt
(7) Heat loss to side walls from gas phase	: 0 MWt
(8) Heat loss to side walls from solid phase	: 0.251408 MWt
(4)+(5)+(6)+other heat loss (0.115165 MWt)	14.1988 MWt
Heat recovery efficiency from the waste	: 85.24 %

Gambar 4. 4 Data Group 2 TPA1+7,5%

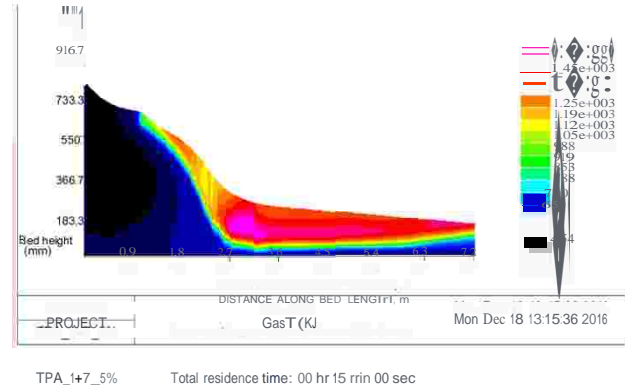
Moisture evaporated (822.286 kg/hr)	= 100.1%
Initial water in waste (821.442 kg/hr)	
Volatile released (3718.74 kg/hr)	
Initial volatile in waste (3754.81 kg/hr)	= 99.04 %
Char burned (1150.3 kg/hr)	
Initial fixed-carbon in waste (1291.31 kg/hr)	= 89.08%
Total mass loss (5691.33 kg/hr)	
Initial waste weight (8214.42 kg/hr)	= 69.28 %
Heat Balance: Total energy in waste-feed= 20.7233 MWt	
(1) Heat released from waste combustion	: 13.2493 MWt
(2) Remaining chemical heat in flue-gas	: 3.91851 MWt
(3) Remaining chemical heat in ash	: 1.24176 MWt
(1) + (2) + (3)	= 18.4096 MWt
(4) Heat transferred to over-bed by radiation	: 8.5964e-002 MWt
(5) Heat carried by flue gas (sensible)	: 13.2639 MWt
(6) Heat carried by exit-waste (sensible)	: 0.54368 MWt
(7) Heat loss to side walls from gas phase	: 0 MWt
(8) Heat loss to side walls from solid phase	: 0.242118 MWt
(4)+(5)+(6)+other heat loss (0.115839 MWt)	14.2515 MWt
Heat recovery efficiency from the waste	: 84.5 %

Gambar 4. 5 Data Group 2 TPA1+10%

Gambar di atas menunjukkan data group 2 dari lima data yang disimulasikan. Data report 2 menunjukkan jumlah kadar air yang menguap, senyawa volatil yang dihasilkan dan arang yang terbakar. Data diatas pun menunjukkan energy balance yang dihasilkan dari hasil pembakaran, panas yang dilepaskan dari bed dan panas yang hilang dari bed. Selanjutnya ada profile temperatur gas yang ada didalam bed dan komposisi gas yang keluar diatas bed.



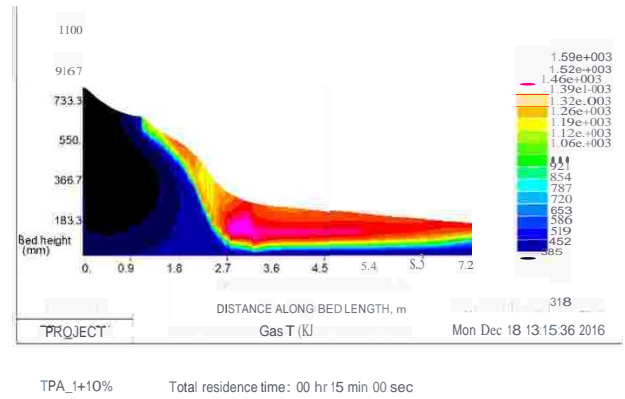
Gambar 4. 1 Temperatur Gas TPA1



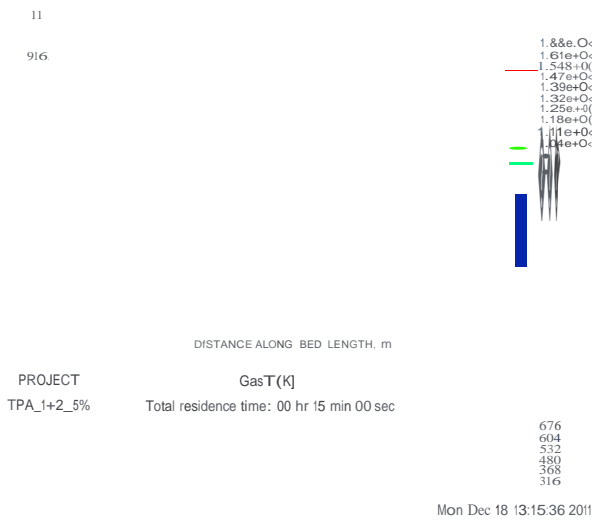
Gambar 4. 4 Temperatur Gas TPA1+7,5%



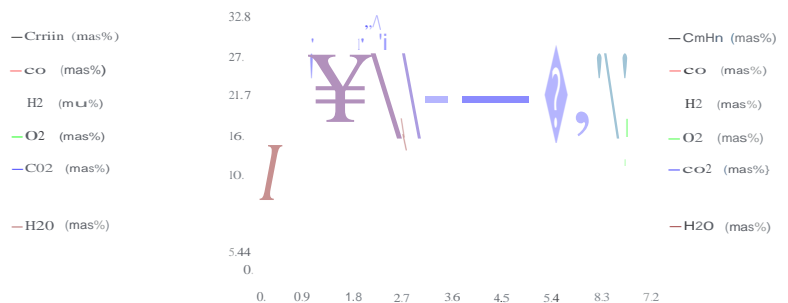
Gambar 4. 2 Temperatur Gas TPA1+2,5%

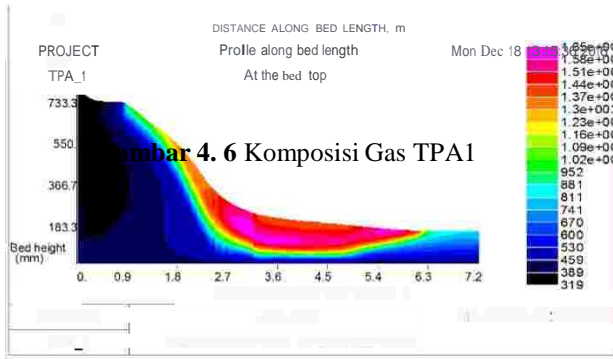


Gambar 4. 5 Temperatur Gas TPA1+10%

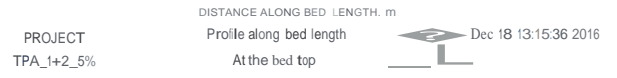


Gambar 4. 3 Temperatur Gas TPA1+5%

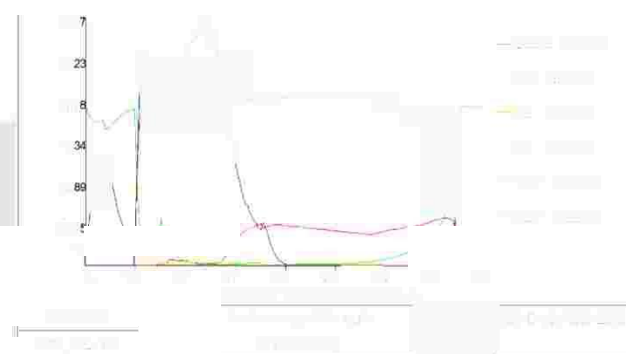
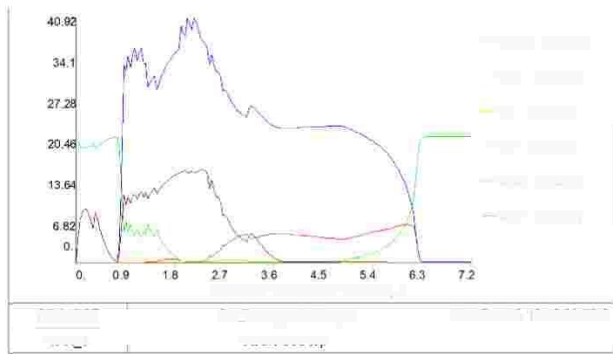
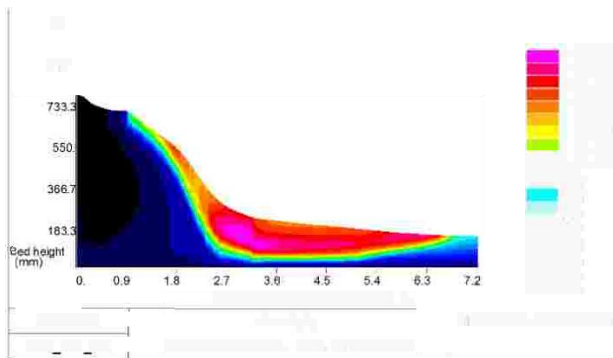
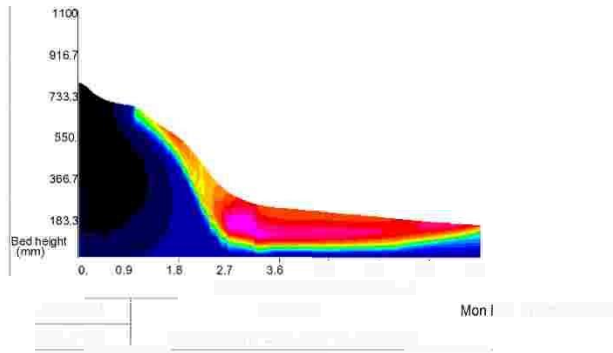


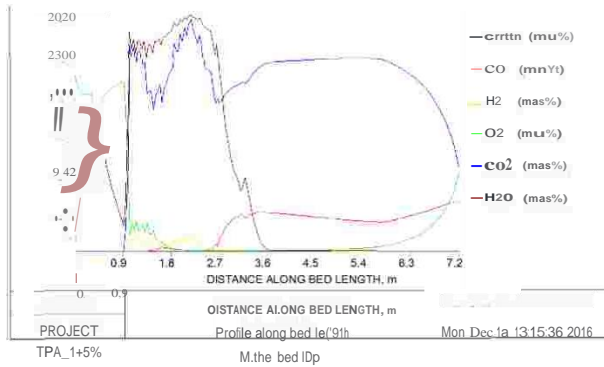


Gambar 4. 6 Komposisi Gas TPA1

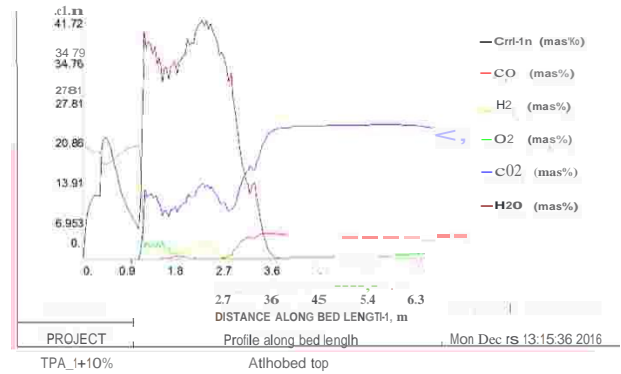


Gambar 4. 7 Komposisi Gas TPA1+2,5%

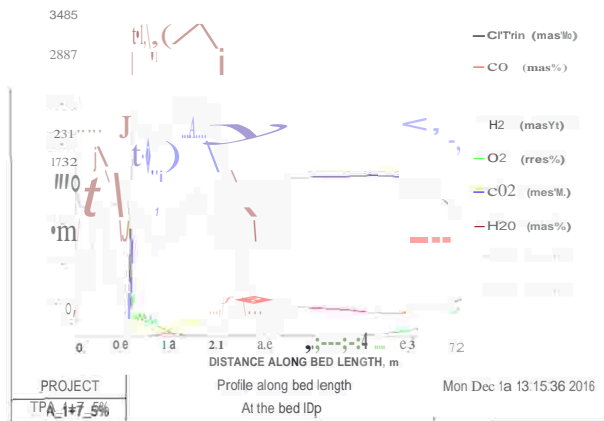




Gambar 4. 8 Komposisi Gas TPA1+5%



Gambar 4. 10 Komposisi Gas TPA1+10%



Gambar 4. 9 Komposisi Gas TPA1+7,5%

4.2 Hasil Perhitungan Indeks Standart Polutan Udara (ISPU)

Polutan adalah salah satu permasalahan didalam insinerator. Di indonesia gas gas yang di anggap berbahaya adalah gas CO, SO₂, O₃ dan NO₂. Dalam penelitian ini hanya ditemukan gas CO sebagai gas yang dapat dikonversi kedalam satuan ISPU. Oleh karena itu perhitungan hanya bisa dilakukan dengan kadar CO. Berikut adalah kadar CO dari hasil simulasi kelima data.

Tabel 4. 1 Tabel konversi nilai CO

DATA	Nilai CO	PPM	mg/m3
TPA1	1,815 %	22,2	27,9
TPA1+2,5%	2,045 %	25,5	31,4
TPA1+5%	1,878 %	23,3	28,7
TPA1+7,5%	1,745 %	21,7	26,8
TPA1+10%	1,613 %	20,1	24,8

Data diatas adalah hasil konversi menjadi mg/m3. Jadi bisa kita masukan dalam rumus untuk menjadi satuan ISPU sebagai berikut.

Tabel 4. 2 Tabel ISPU Hasil Simulasi

Data	ISPU	Kategori
TPA1	246	SANGAT TIDAK SEHAT
TPA1+2,5%	285	SANGAT TIDAK SEHAT
TPA1+5%	269	SANGAT TIDAK SEHAT
TPA1+7,5%	258	SANGAT TIDAK SEHAT
TPA1+10%	246	SANGAT TIDAK SEHAT

Tabel 4. 3 Tabel nilai katagori ISPU

BAIK	TIDAK SEHAT			
0-50	51-100	101-199	SEHAT 200-299	300-500

Dari perhitungan ISPU diatas dapat disimpulkan bahwa kelima data yang memproduksi kadar CO masuk dalam katagori “Sangat Tidak Sehat” dimana dalam katagori ini menunjukkan potensi meningkatnya kardiovaskular pada orang bukan perokok yang berpanyakit Jantung, dan akan tampak beberapa kalemahan yang terlihat secara nyata.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan dari kelima data sampah yang sudah dijalankan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari kelima data yang sudah disimulasikan potensi energi terbesar diperoleh dari data sampah TPA1+2,5% dimana menghasilkan 15.259 Mwt.
2. Dari kelima data yang sudah disimulasikan hanya produksi gas CO yang dapat dimasukkan kedalam perhitungan indeks standart polutan udara, dikarenakan kadar gas berbahaya yang lainnya tidak bernilai.
3. Dari kelima data yang sudah disimulasikan diperoleh nilai indeks standart polutan udara (ISPU) terbesar terdapat pada data sampah TPA1+2,5% dengan nilai ISPU 285 yang tergolong pada kategori “Sangat Tidak Sehat” begitu pula dengan sisa data sampah yang lain masuk ke dalam kategori “Sangat Tidak Sehat”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F.Zed, Y.N.Suharya, A.Rasyid, D.Hayati, D.Rosdiana, E.Mohi, F.Santhani, S.H.Pambudi, C.Malik, J.Santosa, A.Nurohim (2014) *Dewan Energi Nasional Outlook Energi Indonesia 2014*. Jakarta
- [2] Naryono, Eko. Atikah. Rahmansyah, Arief. Soemarno. *Simulasi dan Evaluasi Insinerasi Sampah Organik Rumah Tangga Pada Reaktor Unggun Tetap (Fixed Bed)*. Universitas Brawijaya. Malang
- [3] Christian, Hans (2008) *Modifikasi Sistem Burner dan Pengujian Fluidized Bed Incinerator*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- [4] Hussein, Ahmad. (2012) *CFD Modeling of Grate Furnace Design for Municipal Solid Waste Combustion*. Malaysia
- [5] Arisanty, Y.R. Kusumastuti, Yuni. Utami, A.W. (2009) *Gasifikasi Limbah Kulit Biji Kopi Dalam Reaktor Fixed Bed dengan Sistem Inverted Downdraft Gasifier : 1 Distribusi Suhu*. Universitas Gajah Mada.
- [6] Wibowo, Ario Basuki. (2007) *Kajian Awal Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di Kota Bandung*. Institut Teknologi Bandung
- [7] Damarhuri, Enri dan Padmi, Tri. (2010) *Diktak Kuliah TL-3104 Pengolahan Sampah*. Institut Teknologi Bandung
- [8] Tang, Erik. (2006) *CFD Modeling of MSW Combustor*. Universiti Teknologi Malaysia.
- [9] Yang, Yao Bin. Newman, Robert. Sharifi, Vida. Swithenbank, Jim. Aris, John (2007) *Mathematical modelling of straw combustion in a 38 Mwe power plant furnace and effect of operating conditions*. Sheffield University Waste Incineration Centre (SUWIC). United Kingdom.
- [10] Yin, Cheng. Rosendahl, Lasse. Clausen, Sonik. Hvid, Soren L. (2012) *Characterizing and modeling of an 88MW grate-fired boiler burning wheat straw: Experience and lessons*. Department of Energy Technology, Aalborg University.