

Perancangan Sistem Insinerator Skala TPS

RONI HIBATUL FITRIYADI¹, TRI SIGIT PURWANTO²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITENAS

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITENAS

Email: ronihf18@gmail.com

Received 01 10 2021 | Revised 04 10 2021 | Accepted 06 10 2021

ABSTRAK

Sampah merupakan salah satu permasalahan di Kota Bandung; rata-rata mencapai 1.700 ton/hari. Timbulan sampah berpotensi mencemari tanah dengan air lindi (leachate). Sedangkan biaya pengangkutan dari Tempat Pembuangan Sementara (TPS) ke Tempat Pengolahan dan Pemrosesan Akhir Sampah (TPPAS) akan naik berkisar 25% sampai 35% per ton setiap lima tahunnya. Untuk mengurangi volume sampah yang dipindahkan dari TPS ke TPA, maka salah satu upaya pemerintahan kota adalah menerapkan pembakaran sampah dengan metode insenerasi di TPS yang ada. Perancangan insinerator yang dikaji spesifik untuk skala TPS untuk sampah yang telah dipisahkan kandungan non organiknya. Desain insinerator mempunyai kapasitas 0,5 m³/jam yang mempunyai temperatur desain ruang bakar diatas 1000⁰C. Untuk karakteristik sampah organik dengan kadar air 50,8%, diperoleh temperatur pembakaran yang tercapai adalah 814.977⁰C dan efisiensi pembakaran 40.728%. Adapun bahan bakar solar yang disuplai untuk menjaga temperatur ruang bakar diatas 1000⁰C adalah 26 lt/jam. Untuk mengurangi pencemaran udara dari gas buang insenerator, maka insenerator dilengkapi dengan wet cyclone separator.

Kata kunci: *Timbulan Sampah, Insinerator, TPS Kota Bandung.*

ABSTRACT

Household waste is one of the main problems in the Bandung city, it produces an average of 1,700 tons household waste per day. The waste generation has potential to contaminate the soil with leachate. Meanwhile, transportation costs from household waste dump to landfill will increase by around 25% to 35% per tonne every five years. To reduce the volume of house hold waste transferred to landfill, one of the city's government's efforts is to implement the incineration method household waste dump. The design of the incinerators studied is specific for the household waste dump scale without metal content. The design of the incinerator has a capacity of 0.5 m³/hour which has a design temperature of the combustion chamber above 1000C. For the characteristics of organic waste with a moisture content of 50.8%, the achieved combustion temperature is 814,977°C and the combustion efficiency is 40.728%. The diesel fuel supplied to maintain the combustion chamber temperature above 1000°C is 26 lt/hour. To reduce air pollution from incinerator exhaust gases, the incinerator is equipped with a wet cyclone separator.

Keywords: *Waste Generation, Incinerator, TPS Bandung City*

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan salah satu permasalahan umum manusia yang masih dikembangkan solusinya. Dilansir pada website data.bandung.go.id timbulan sampah dari hari ke hari semakin meningkat di Kota Bandung; rata-rata timbulan sampah jumlahnya mencapai 1.700 ton/hari. Sumber timbulan sampah terbesar dari pemukiman yaitu sebesar 66% (1048.96 ton/hari), pasar sebesar 19% (300.32 ton/hari), dan daerah komersil dan perkantoran 6% (95.84 ton/hari), dan 5% (88.32 ton/hari) secara berurutan. Jumlah TPS di kota Bandung sebanyak 154 unit, Jumlah TPS terbanyak sebesar 43 unit TPS di Kabupaten Bandung Barat. Pada wilayah TPS Kebon Pisang dengan jumlah penduduk 11.033 jiwa dengan timbulan sampah 0.45 kg/orang/hari, maka diperoleh total timbulan sampah sebesar 4965 kg/hari. Sampah yang ditimbun di pembuangan akhir sampah, mempunyai potensi mencemari tanah dengan air lindi (*leachate*) mengandung logam berat cukup tinggi. Luas lahan yang tersedia untuk tempat pembuangan sampah tidak sebanding dengan densitas timbulan sampah setiap harinya yang terus meningkat; akibat dari pertambahan jumlah penduduk (Tasrin & Amalia, 2014).

Insinerator adalah sebuah alat untuk proses insinerasi. Insinerasi atau pembakaran sampah adalah teknologi pengolahan sampah yang melibatkan pembakaran bahan organik. Hasil dari insinerasi adalah abu, gas hasil pembakaran, panas, dan partikel-partikel padat (Arifin, 2016). Pentingnya metode insinerasi dengan alat insinerator ini yaitu dapat mereduksi atau menurunkan volume sampah. Ada dua tipe insinerator jika dilihat dari segi pemanfaatannya, yang pertama sebagai pemusnah sampah dengan membuang begitu saja panas yang dihasilkan, kedua memanfaatkan panas yang dihasilkan dari pembakaran sampah untuk dikonversikan menjadi energi lainnya. Insinerator sangat cocok untuk pengolahan sampah yang membutuhkan waktu yang cepat, dan dapat membersihkan atau menurunkan kandungan bakteri yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan (Bagus, 2002).

Sampah di TPS umumnya merupakan timbulan sampah dari rumah tangga, sehingga komposisi sampah didominasi oleh sisa makanan, kayu, dan kertas. Adapun komposisi sampah di TPS Kota Bandung dijabarkan seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel. 1 Komposisi Sampah Kota Bandung Berdasarkan Karakteristik Sampah Tahun 2016-2019

Jenis Sampah	2016		2017		2019	
	Produksi Sampah (m3/hari)	Persentase	Produksi Sampah (m3/hari)	Persentase	Produksi Sampah (m3/hari)	Persentase
Sisa makanan	316.8	19.8	316.8	19.75	780.08	44.51
Kayu, ranting, daun	185.6	11.6	515.2	32.14	69.75	3.98
Kertas	515.2	32.2	172.8	10.78	229.94	13.12
Plastik	28.8	1.8	188.8	11.78	327.21	18.67
Logam	68.8	4.3	68.8	4.29	15.95	0.91
Kain	57.6	3.6	56	3.49	83.25	4.75

Jenis Sampah	2016		2017		2019	
	Produksi Sampah (m3/hari)	Persentase	Produksi Sampah (m3/hari)	Persentase	Produksi Sampah (m3/hari)	Persentase
Karet dan Kulit	30.4	1.9	30.4	1.9	41.71	2.38
Kaca	56	3.5	57.6	3.59	132.67	7.57
Lainnya	340.8	21.3	196.8	12.28	72.03	4.11
Total	1600	100	1603.2	100	1752.59	100

Sumber: DLHK Kota Bandung, 2019

2. METODOLOGI PENELITIAN

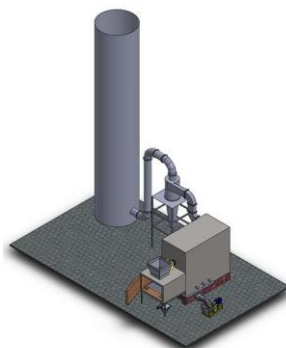
Pada penelitian ini melakukan perancangan sistem insinerator skala TPS di Kota Bandung dengan beberapa tahapan-tahapan yang dilakukan.

Tahapan pertama dimulai dengan melakukan studi literatur seperti teori-teori pendukung yang berkaitan dengan kajian atau penelitian ini dan didapat data lapangan berupa luas lahan dan volume timbunan sampah TPS di Kota Bandung. Setelah mendapatkan data lapangan, melakukan pemilihan tipe insinerator, dipilihlah tipe *Moving Grate Incinerator*. Lalu melakukan perancangan sistem insinerator, seperti analisis sumber bahan bakar, perhitungan proses pembakaran insinerator, dan perhitungan desain insinerator. Setelah selesai membuat desain insinerator tiap komponen, dibuatlah *assembly* dari tiap komponen insinerator menggunakan *software* Solidworks.

2.1 Perancangan Sistem Insinerator

Tipe incinerator yang dipilih pada kajian ini adalah tipe *Moving Grate Incinerator*. Cara kerja *Moving Grate Incinerator* yaitu sampah masuk melalui *hopper inlet* lalu sampah jatuh diatas *conveyor* dan akan masuk kedalam ruang bakar, didalam ruang bakar akan terjadi pembakaran dibantu oleh *burner* dan *supply* udara melalui bagian bawah *conveyor*. Setelah sampah terbakar didalam ruang bakar, abu hasil pembakaran akan jatuh ke *hopper outlet* untuk dikeluarkan dari ruang bakar.

Adapun rancangan desain insinerator yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Insinerator

Pada gambar desain insinerator diatas terdapat komponen-komponen utama yang terdiri dari:

1. Ruang bakar
Ruang bakar adalah tempat untuk proses pembakaran sampah dengan 4 lapisan, lapisan pertama menggunakan bata tahan api, lapisan kedua semen tahan api dengan tebal 3 mm, lapisan ketiga keramik insulasi dengan tebal 50 mm, dan lapisan keempat plat baja dengan tebal 2 mm.
2. Conveyor
Conveyor berfungsi untuk membawa sampah dari luar ruang bakar kedalam ruang bakar, agar pembakaran dapat terjadi secara kontinyu.
Kecepatan putar motor sebesar 68 rpm (speed control) dan ratio gearbox 1:100.
Kecepatan yang dibutuhkan conveyor (output) sebesar 0.00075 m/s
Kecepatan conveyor (input) sebesar 0.001
3. Cyclone
Cyclone berfungsi untuk menyaring partikel-partikel padat dari gas hasil pembakaran.
4. Cerbong (Stack)
Cerobong berfungsi untuk mengalirkan gas asap hasil pembakaran yang sudah difilter partikel padatnya oleh cyclone untuk dilepaskan ke lingkungan.

2.2.1 Analisa Sumber Bahan Bakar

Dalam mendesain insinerator perlu dilakukan analisis sumber bahan bakar/sampah yang menjadi umpan insinerator. Dengan mengetahui komposisi sampah yang ada di TPS kajian, serta memisahkan timbunan sampah logam, maka kadar air pada sampah didapat sebesar 50.8%, seperti yang tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar Air Sampah

Jenis sampah	m3/hari	kadar air	Fraksi Volume (y)	Kadar Air (w)
sisa makanan	780.08	79.9%	0.50921	40.68185
kayu	69.75	40.1%	0.04553	1.82441
kertas	229.94	23.5%	0.15010	3.52669
plastik	327.21	20.4%	0.21359	4.36496
kain	83.25	8.6%	0.05434	0.46838
karet	41.71	0.8%	0.02723	0.02124
Total	1531.94		1	50.8875

Bahan bakar yang digunakan merupakan sampah yang terkumpul di TPS dengan karakteristik yang dinyatakan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik *Ultimate Analysis* Sampah

Sampel	Komposisi	Komponen						
	%	C	H ₂	O	N ₂	S	H ₂ O	Ash
Plastik	21.0%	56.40	7.79	8.05	0.85	3.00	15.00	8.59
Kertas	15.0%	34.40	4.72	32.40	0.16	0.24	21.00	4.62
Kain	5.4%	37.20	5.02	27.10	3.10	0.27	25.00	1.98
Karet	2.7%	43.10	5.37	11.60	1.34	4.97	10.00	22.50
Kayu	4.5%	41.20	5.03	34.50	0.02	0.09	16.00	2.82
Organik	50.9%	46.20	6.10	33.33	1.90	0.01	4.90	7.23
Total Campuran	99.5%	45.77	6.12	26.98	1.38	0.83	11.19	7.06
Kondisi Basah Kadar Air 50.8%								
Total Campuran		19.33	2.59	11.39	0.58	0.35	50.80	2.98

Nilai kalor yang dikandung oleh sampah sangat dipengaruhi oleh komposisi sampah dan kadar airnya. Untuk menghitung nilai kalor sampah dapat menggunakan persamaan Dulong.

$$HHV\left(\frac{\text{Btu}}{\text{lb}}\right) = 145C + 610 \times \left(H - \frac{1}{8}O\right) + 40S + 10N \quad (1)$$

$$LHV\left(\frac{\text{Btu}}{\text{lb}}\right) = HHV \times \left(1 - \frac{H_u}{100}\right) - 5.83 \times (H_u + 9H_2) \quad (2)$$

dimana,

H_u = Persentase Kadar Air

Nilai kalor sampah untuk komposisi sampah sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai Kalor Sampah tiap Komponen Sampah yang dikaji

Sampel	Komposisi	Nilai Kalor			
	%	HHV (btu/lb)	HHV (kcal/kg)	LHV (btu/lb)	LHV (kcal/kg)
Plastik	21.0%	12444.59	6918.28	5417.83	3011.918951
Kertas	15.0%	5407.90	3006.40	2116.86	1176.822075
Kain	5.4%	6431.63	3575.51	2604.80	1448.076481
Karet	2.7%	8852.90	4921.57	3777.70	2100.124816
Kayu	4.5%	6415.48	3566.54	2596.33	1443.367502
Organik	50.9%	7897.99	4390.70	3269.58	1817.647161
Logam					
Lain-lain					
Total Campuran	99.5%	8361.56	4648.42	3496.52	1943.81

Dari persamaan Dulong diatas (1) dan (2), nilai HHV didapat sebesar 4648.42 kcal/kg, dan nilai LHV didapat sebesar 1943.81 kcal/kg.

2.2.2 Perhitungan Proses Pembakaran Insinerator

Perhitungan proses pembakaran insinerator melakukan perhitungan rencana *stoichiometric Air (dry)*, perhitungan rencana jumlah *flue gas*, dan perhitungan rencana performa insinerator.

Berikut perhitungan proses pembakaran insinerator:

1. Perhitungan Rencana *Stoichiometric Air (dry)*

Komponen oksidasi udara pada reaksi stoikiometri persatuan 100 kg oksidasi didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Stoichiometric Oxygen} = \text{Fuel Constituent} \times \text{Multiplier} \quad (3)$$

$$\text{Dari persamaan (3) didapat nilai oksidasi udara } C=51.558 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}, H_2=20.685 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}, \\ S=0.35 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}, N_2=0 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}, O_2=11.394 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}, H_2O=0 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}, \text{Ash}=0 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}.$$

Jumlah total seluruh komponen oksidasi didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Total Oxygen} = \text{Jumlah Stoichiometric Air} \quad (4)$$

$$\text{Dari persamaan (4) didapat Total oxygen sebesar } 61.199 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$$

Kebutuhan udara (termasuk kandungan uap air) dalam reaksi stoikiometri didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Total Wet Air} = (4.32 \times \text{Total Oxygen}) + (\text{Absolute Air Moisture} \times (4.32 \times \text{Total Oxygen})) \quad (5)$$

dimana,

absolute air moisture = 0.023

Dari persamaan (5) didapat Total *wet air* sebesar $270.459 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$

Kebutuhan udara pembakaran ditambah 20% kelebihan udara didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Combustion Wet Air} = 1.2 \times \text{Total Wet Air} \quad (6)$$

Dari persamaan (6) diatas didapat *combustion wet air* sebesar $324.551 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$

2. Perhitungan Rencana Jumlah *Flue Gas*

Komponen *flue gas* dari hasil pembakaran didapat, $\text{CO}_2 = 70.892 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$,
 $\text{Air} = 243.842 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$, $\text{Fuel} = 1.387 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$, $\text{SO}_2 = 0.7 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$, dan *excess oxygen* = $12.235 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$

Total komponen gas asap hasil pembakaran (*dry flue gas*) sama dengan nilai jumlah komponen total sebesar $329.056 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$

Total komponen hasil pembakaran (termasuk kandungan uap air) didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Total Wet Flue Gas} = \text{Total dry flue gas} + \text{H}_2 \text{ content fuel} + \text{Fuel moisture} + \quad (7)$$

Combustion air

Dari persamaan (7) didapat total *wet flue gas* sebesar $410.42 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$

Total komponen hasil pembakaran dan gas asap hasil pembakaran (*Total wet & air dry flue gas*) didapat dengan menjumlahkan total *wet flue gas* dan total *dry flue gas*, yaitu sebesar

$739.48 \frac{\text{kg}}{100 \text{ kg fuel}}$

3. Perhitungan Rencana Performa Insinerator

Pada rencana performa insinerator dengan LHV sebesar 1943.81 kcal/kg, dan *no leak gas*

sebesar 900°C, didapat nilai *heatloss*, *combustion efficiency*, dan *performa criteria*.

Kerugian kalor akibat temperatur gas asap keluar *boiler* lebih besar dari temperatur lingkungan didapat dengan persamaan dibawah ini.

$$\text{Dry Hot Gas Loss} = \left(\frac{\text{total dry flue gas}}{100} \right) \times (\text{no leak gas temperature} - 27) \quad (8)$$

Dari persamaan (8) didapat *dry hot gas loss* sebesar $2872.656 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Kerugian kalor akibat penguapan uap air dalam proses pembakaran didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Fuel Laten Heat Loss} = \left(\frac{\text{moisture fuel} + \text{combustion air}}{100} \right) \times (\text{entalpi penguapan air}) \quad (9)$$

Dari persamaan (9) didapat *fuel laten heat loss* sebesar $1094.74 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Kerugian kalor akibat pembentukan uap air dari kandungan hydrogen didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Fuel Hydrogen Heat Loss} = \left[(8.936 \times \frac{\text{H}_2\text{content}}{100}) \times (\text{entalpi penguapan air}) \right] \quad (10)$$

Dari persamaan (10) didapat *fuel hydrogen heatloss* sebesar $491.913 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Kerugian kalor laten udara pembakaran didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Combustion Air Laten Heat Loss} = \left[\text{Absolute Air Moisture} \times \left(\frac{\text{Total Wet Air} + \text{Total Excess Air}}{100} \right) \times (\text{entalpi penguapan air}) \right] \quad (11)$$

Dari persamaan (11) didapat *combustion air laten heatloss* sebesar $156.989 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Kerugian kalor akibat bahan bakar yang tidak terbakar didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Unburn Carbon Loss} = \% \text{ unburn carbon} \times \text{jumlah C} \times \text{LHV} \quad (12)$$

Dari persamaan (12) *unburn carbon loss* sebesar $204.218 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Total *heatloss* didapat dengan menjumlahkan persamaan (8) sampai (12) sebesar $4820.52 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Efisiensi pembakaran pada perhitungan rencana performa insinerator didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Combustion Efficiency} = \frac{(\text{LHV} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) + \text{Sensible heat fuel}) - \text{Total Heat loss}}{\text{LHV} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)} \quad (13)$$

Flue gas flow didapat dengan persamaan dibawah ini.

$$Flue\ Gas\ Flow = \left(\frac{Total\ wet\ \&\ air\ dry\ flue\ gas}{100} \right) \times \left(\frac{Fuel\ flow}{1.1} \right) \quad (15)$$

Dari persamaan (15) didapat *flue gas flow* sebesar $668.402 \frac{m^3}{jam}$

Temperatur pembakaran dengan disosiasi 1.3 sama dengan temperatur adiabatik, untuk mendapat temperatur adiabatik menggunakan persamaan dibawah ini.

$$hf = \frac{LHV - panas\ laten\ air + panas\ sensibel\ air}{berat\ gas\ buang} \quad (16)$$

$$T_{adiabatik} = 86^\circ F + \frac{3/50}{1 + \frac{750}{hf}} \quad (17)$$

Nilai hf didapat sebesar $453.44 \frac{Btu}{lb}$

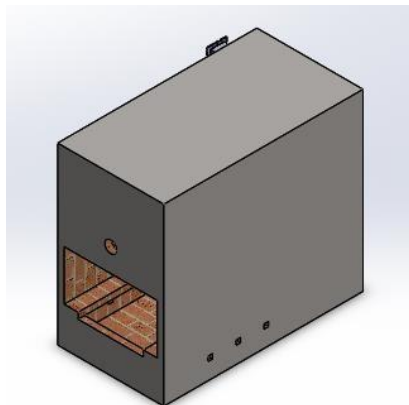
Dari persamaan (17) didapat temperatur adiabatik sebesar $814.977^\circ C$ sama dengan temperatur pembakaran.

Dengan kadar air *moisture* sebesar 50.8% didapat tempertur gas buang sebesar $845.577^\circ C$

2.2.3 Desain Insinerator

Tahap selanjutnya adalah melakukan desain insinerator. Pada tahap ini melakukan perhitungan rancangan dimensi ruang bakar, perhitungan rancangan *conveyor*, perhitungan rancangan *cyclone*, dan perhitungan rancangan cerobong (*stack*).

1. Rancangan Ruang Bakar



Gambar 2. Ruang Bakar

Ruang bakar didesain dengan dimensi 2 m (L) x 1 m (W) x 1.87 m (H) mempunyai kapasitas

$0.5 \frac{m^3}{jam}$ dengan waktu pembakaran selama 3600 s. Ruang bakar ini didesain dengan

empat lapisan isolasi yaitu bata tahan api dengan tahanan termal sebesar $0.018 \frac{WK}{WK}$, semen

tahan api sebesar $0.0023 \frac{WK}{WK}$, keramik insulasi sebesar $0.1923 \frac{WK}{WK}$, dan plate baja sebesar $0.0000236 \frac{WK}{WK}$

WK

WK
WK

Total tahanan thermal sebesar $0.2127 \frac{1}{WK}$.

Sampah yang dimasukan kedalam ruang bakar mempunyai temperatur $20^{\circ}C$ dengan temperatur dinding luar (T_5) $40^{\circ}C$, tempeatur lingkungan (T_L) $30^{\circ}C$, dan temperatur pembakaran (ignisi) sebesar $814.978^{\circ}C$, menghasilkan temperatur pada dinding dalam $979.47^{\circ}C$ dan temperatur raung bakar $1059.47^{\circ}C$, didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Temperatur ruang bakar } (T_0) = T_{\text{adiabatik}} \times \text{disosiasi} \quad (18)$$

$$\text{Temperatur dinding dalam } (T_1) = T_0 - T_{\text{iterasi}} \quad (19)$$

Perhitungan rancangan ruang bakar ini didapat kalor dinding dan kalor sampah dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$Q_{\text{loss}} = \frac{(T_1 - T_5)}{R_{\text{total}}} \quad (20)$$

$$Q_{\text{sampah}} = \frac{m_{\text{sampah}} \times C_{p_{\text{sampah}}} \times (T_{\text{ignisi}} - T_{\text{sampah awal}})}{t_{\text{pembakaran}}} \quad (21)$$

dimana,

$$C_{p_{\text{sampah}}} = 9801.23 \frac{J}{kg.K}$$

Pembakaran tidak membutuhkan bahan bakar *sustaining combustion* dikarenakan temperatur gas buang diatas titik LEL (*Lower Explosive Limit*) sampah organic, $810^{\circ}C$. Bahan bakar menggunakan *diesel oil* dengan LHV sebesar $40029.16 \frac{kJ}{kg}$ dan C_p sebesar 1850

$\frac{J}{kg.K}$, membutuhkan konsumsi bahan bakar sebesar $0.00603 \frac{kg}{s}$ atau setara dengan $25.95 \frac{l}{h}$.

2. Rancangan Conveyor



Gambar 3. Conveyor

Conveyor mempunyai panjang 2.7 m, kecepatan yang dibutuhkan conveyor (*output*) sebesar 0.00075^m, didapat dari persamaan dibawah ini.

$$v = \frac{s}{t} \quad (22)$$

dimana,

v = kecepatan yang dibutuhkan conveyor

s = panjang lintasan conveyor

t = waktu pembakaran (3600 s)

Kecepatan conveyor (*input*) yang dihasilkan menggunakan motor gearbox sebesar 0.001^m,

didapat dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$v = \pi \times d \times n \quad (23)$$

dimana,

v = kecepatan conveyor (*input*)

d = diameter rollbar conveyor 0.75 m

n = kecepatan putar motor gearbox $\left(\frac{\text{rpm}_{\text{motor listrik}}}{\text{ratio gearbox}} \right)$

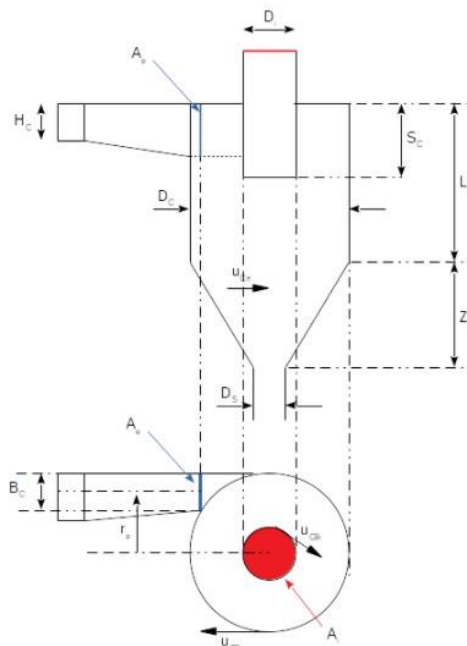
3. Rancangan Cyclone

Perhitungan geometri cyclone mengacu kepada standar geometri cyclone high efficiency (*Stairmand*). Dengan spesifikasi gas viscosity 4.84×10^{-5} Pa.s, gas density 0.275 ^{kg}, dan solid density kg / m³. Standard geometri cyclone dapat dilihat pada table 8. Dibawah ini,

Tabel 5. Standard Geometri Cyclone

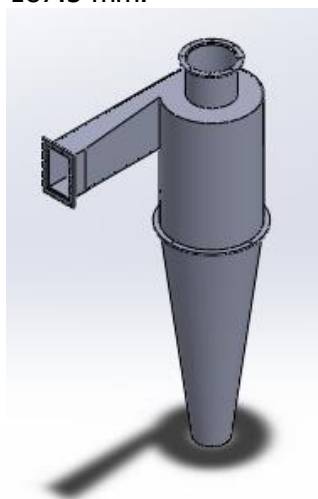
Dimensi	Standard			High Efficiency	
	Lapple	Swift	Peterson Whitby	Stairmand	Swift
$H_c/D_c = K_H$	0.5	0.5	0.583	0.5	0.44
$c/D_c = K_B$	0.25	0.25	0.208	0.2	0.21
$S_c/D_c = K_S$	0.625	0.6	0.583	0.5	0.5
$D_i/D_c = K_i$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
$L_c/D_c = K_L$	2	1.75	1.333	1.5	1.4
$Z_c/D_c = K_Z$	2	2	1.84	2.5	2.5
$D_s/D_c = K_D$	0.25	0.4	0.5	0.375	0.4

Sumber: Bohnet, 1997 (powderprocess.net)



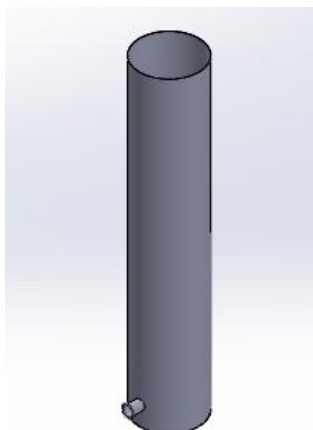
Gambar 4. Gambar Teknik *Cyclone*
 Sumber: *Sumber: Bohnet, 1997*
(powderprocess.net)

Dari perhitungan *performa criteria gas flowrate* yang dihasilkan sebesar 668.402 $\frac{m^3}{jam}$ dan *ash* sebesar 5926.97 $\frac{g}{jam}$. Perhitungan *pressure drop* dan dimensi *cyclone* secara otomatis didapat dari website: *powderprocess.net* dengan meng-*input* diameter *cyclone* (D_c) sebesar 0.5 m menghasilkan dimensi dari *cyclone*. $H_c=250$ mm, $B_c=100$ mm, $S_c=250$ mm, $D_i=250$ mm, $L_c=750$ mm, $Z_c=1250$ mm, dan $D_s=187.5$ mm.



Gambar 5. *Cyclone*

4. Rancangan Cerobong (*Stack*)



Gambar 6. Cerobong (*Stack*)

Rancangan tinggi cerobong sebesar 8.35 m, pada desain tinggi cerobong dikenakan menjadi 8 m, dan diameter cerobong sebesar 1.54 m. tinggi dan diameter cerobong didapat dari persamaan dibawah ini.

$$H = 14 \times Q^{0.3} \quad (24)$$

dimana

$$Q = \text{flue gas flowrate} \left(\frac{\text{quantity of fuel} \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times S \text{ content} \times 2}{100} \right) = 0.178 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$Q = c \times A \times \sqrt{2 \times g \times h \times \frac{T_1 - T_0}{T_1}} \quad (25)$$

Dimana $c = 0.7$

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Hasil dari Perancangan Sistem Insinerator Skala TPS

Hasil dari perancangan sistem insinerator skala TPS didapat spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 6. Spesifikasi Rancangan Insinerator Skala TPS

Nama	Spesifikasi
Dimensi insinerator	2140 mm (L) x 1140 mm (W) x 1880 m (H)
Volume ruang bakar	0.8 m ³
Kapasitas pembakaran	0.5 m ³ /jam
Temperatur pembakaran	814.977°C
Temperatur insinerator	- Temperatur ruang bakar (T₀) 1059°C. - Temperatur dinding dalam (T₁) 979°C - Temperatur lingkungan (T_L) 30°C. - Temperatur dinding luar (T₅) 40°C.

Tahanan termal <i>insulating</i>	- bata tahan api (tebal 65 mm) dengan tahanan thermal sebesar $0.01805 \frac{1}{\text{WK}}$. - semen tahan api (tebal 3 mm) dengan tahanan thermal sebesar $0.00234 \frac{1}{\text{WK}}$. - keramik insulasi (tebal 50 mm) dengan tahanan thermal sebesar $0.1923 \frac{1}{\text{WK}}$. - plat baja (tebal 2 mm) dengan tahanan thermal sebesar $0.0000236 \frac{1}{\text{WK}}$.
Cerobong	Tinggi 8.35 m, diameter 1.54 m.
<i>Cyclone</i>	<i>High efficiency (Stairmand)</i> dengan diameter (Dc) 0.5 m
<i>Burner</i>	Riello R 40 G3
<i>Blower</i>	<i>Blower Fan Centrifugal</i>
<i>Motor gearbox</i>	AC 220V, <i>speed control</i> – output power 90W, <i>speed/min</i> 68 rpm, <i>output speed</i> 1350-1500 rpm.

3.2 Analisis dari Perancangan Sistem Insinerator Skala TPS

Dalam perancangan ini didapat kadar air sampah sebesar 50.8%, angka tersebut terbilang tinggi. Kadar air yang tinggi ini dapat mempengaruhi proses pembakaran. Pembakaran dapat berlangsung efektif dan efisien tergantung dari besarnya kadar air sampah tersebut. Pemanfaatan sampah dengan meningkatkan nilai kalor sampah dengan proses pengeringan sampah merupakan salah satu solusi yang baik dan efektif untuk mengurangi kadar air pada sampah. Pengukuran temperatur insinerator dilakukan untuk mengetahui kelayakan insinerator dalam mengolah sampah. Pada desain insinerator yang dirancang temperatur ruang bakar sebesar 1059.47°C sedangkan menurut perhitungan temperatur pembakaran sebesar 814.977°C , maka dibutuhkan bahan bakar untuk menaikkan temperatur pembakaran agar sesuai dengan temperatur ruang bakarnya.

Untuk memaksimalkan proses pembakaran dibuat pola pembakarannya, yaitu dengan memisahkan setengah komposisi sampah organik dalam proses pembakaran, sebab komposisi sampah organik yang memiliki komposisi paling banyak dibandingkan komposisi sampah lainnya.

Akan tetapi, bila melakukan pola pembakaran seperti itu, akan membuat nilai LHV berkurang. Bisa juga dengan meminimalkan jumlah limbah yang masuk ke dalam ruang bakar pada awal proses pembakaran dengan pemisahan secara mekanik, seperti sampah-sampah yang mudah terbakar dan tidak memiliki kadar air yang tinggi terlebih dahulu dimasukan kedalam ruang bakar pada saat awal proses pembakaran. Setelah ruang bakar temperaturnya diatas 800°C barula sampah yang mempunyai kadar air tinggi dimasukan. Proses *pre-treatment* dibutuhkan untuk memaksimalkan proses pembakaran, seperti penyortiran guna meningkatkan nilai kalor sampah sebelum masuk insinerator, homogenisasi berupa pencampuran sampah guna mengontrol masukan energi dan proses insinerasi atau pencacahan sampah guna menangani sampah jenis *bulky waste* yang berjumlah besar.

Temperatur *flue gas* yang keluar dari ruang bakar sebesar 845.577°C, angka tersebut didapat berdasarkan perhitungan temperatur gas buang *moisture* 50.8% dibawah ini.

$$Q_{\text{flue gas}} = Q_{\text{input}} - Q_{\text{output}} \quad (26)$$

$$Q_{\text{flue gas}} = \dot{m}_{\text{flue gas}} \times C_{p_{\text{flue gas}}} \times (T_{\text{flue gas}} - T_{\text{ignisi}}) \quad (27)$$

dimana,

$$Q_{\text{input}} = Q_{\text{fuel}} + Q_{\text{solar}} (224.619 \text{ kW} + 331.816 \text{ kW})$$

$$Q_{\text{output}} = Q_{\text{dinding}} + Q_{\text{pembakaran sampah}} + Q_{\text{laten udara}} + Q_{\text{laten air}} + Q_{\text{sensibel udara}} + Q_{\text{sensibel air (boiling point)}} + Q_{\text{sensibel air (Tdinding)}} \quad (Q \text{ total } 407.705 \text{ }^{\text{kg}})$$

$$C_{p_{\text{flue gas}}} = 1.36 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{\text{flue gas}} = 0.028 \text{ kg/s}$$

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai perancangan sistem insinerator skala TPS dapat disimpulkan total kadar air sampah (w) sebesar 50.8% dengan nilai HHV 4648.42 kcal/kg dan nilai LHV 1943.81 kcal/kg. Temperatur akhir pembakaran/gas buang adalah 845.577 °C pembakaran tidak membutuhkan bahan bakar *sustaining combustion* karena temperatur gas buang diatas *Lower Explosive Limit* sampah organik, 810 °C. Hasil perhitungan menunjukkan nilai total *heatloss* sebesar 4820.52 kJ/kg dengan temperatur pembakaran 814.977 °C dan temperatur ruang bakar 1059.47 °C. efisiensi yang dapat dihasilkan sebesar 40.728%.

DAFTAR PUSTAKA

- Damanhuri, E., Padmi, T., & Sarah, T. (2016). *Pengelolaan Sampah Terpadu*. Bandung : Penerbit ITB.
- Djulianti, Y. (2018). *Identifikasi Tingkat Pengurangan Sampah dengan Adanya Program Kawasan Bebas Sampah*. Bandung : Penerbit ITB.
- Faruq, U. I. (2016). *Studi potensi limbah kota sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Kota Singkawang*. Media Neliti.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2014). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics Eighth Edition*. United States of America: Don Fowley.
- Novita, D. M., Damanhuri, E. (2010). *Perhitungan Nilai Kalor Berdasarkan Komposisi dan Karakteristik Sampah Perkotaan di Indonesia dalam Konsep Waste to Energy*. Bandung : Penerbit ITB.
- Oluwoye, I., Altarawneh, M., Gore, J., & Dlugogorski, B. Z. (2020). *Products of incomplete combustion from biomass reburning*. Fuel.
- Partha, C. G. (2012). *Penggunaan Sampah Organik sebagai Pembangkit Listrik di TPA Suwung- Denpasar*. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro.
- Septyan, A. R. (2019, Juni 7). *Sampah: Pengertian, Jenis, Penyakit, Energi, dan Dampak Buruk*. Retrieved from ForesterAct!: <https://foresteract.com/sampah/>
- Tasrin, K., & Amalia, S. (2014). *Evaluasi Kinerja Pelayanan Persampahan di Wilayah Metropolitan Bandung raya*. Borneo Administrator.
- Yuliani, M. (2016). *Insinerasi untuk Pengolahan Sampah Kota*. Jakarta : Pusat Teknologi Lingkungan (PTL) - BPPT.

Bandung, 08 September 2021

Disetujui Pembimbing,



(Tri Sigit Purwanto, S.T., M.T./1120020118)

