

# **PERENCANAAN INCINERATOR LIMBAH RUMAH SAKIT DENGAN KAPASITAS 60 Kg/Jam**

**TUGAS AKHIR**

***Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Ujian Sarjana***

**Disusun Oleh :**

**RIDHO ILLAHI SIREGAR**

**NIM : 06.813.0047**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2008**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 25/8/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)25/8/23

## ABSTRAK

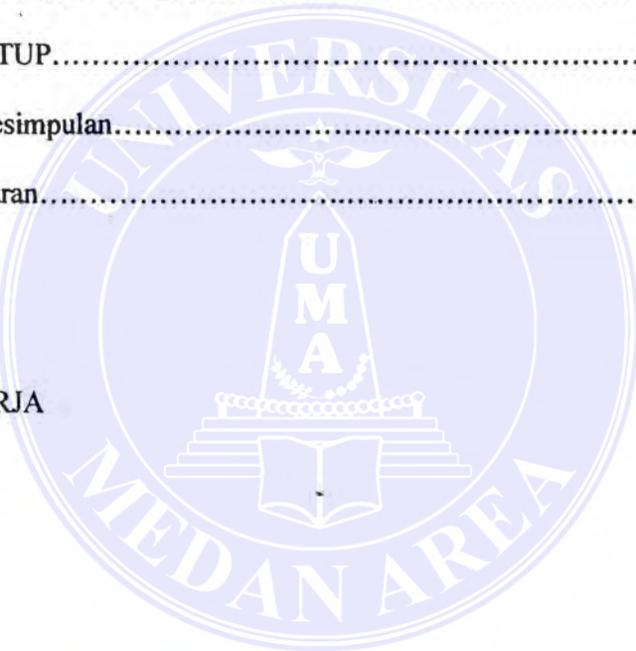
Untuk menciptakan lingkungan yang sehat kita perlu menjaga lingkungan supaya tetap bersih. Kita juga mengetahui suatu kegiatan dominan akan menghasilkan limbah / sampah, dimana limbah merupakan sisa akhir dari penggunaan suatu benda yang tidak berguna lagi. Maka dari itu penanggulangan sampah harus benar-benar diperhatikan khususnya limbah medis, karena limbah medis mengandung bahan yang menular. Penggunaan incinerator adalah cara yang efektif untuk menanggulangi limbah/sampah padat (basah/kering), yang mana cara kerja incinerator adalah dengan pembakaran. Sisa gas buang dari pembakaran incinerator tidak menimbulkan pencemaran udara, karena gas buang yang dihasilkan dari pembakaran sudah sesuai dengan standar/ layak buang. Ruang bakar incinerator terdiri dari dua ruang bakar, yaitu ruang bakar I dan ruang bakar II, dengan volume yang berbeda yaitu untuk ruang bakar I volumenya =  $0,613 \text{ m}^3$  dan ukuran ruang bakar II volumenya =  $0,237 \text{ m}^3$ . Temperatur kerja untuk ruang bakar I berkisar antara ~~300-500~~  $^{\circ}\text{C}$ , sedangkan temperature kerja untuk ruang bakar II berkisar antara ~~400-1200~~  $^{\circ}\text{C}$ . pada perencanaan incinerator limbah medis rumah sakit ini, dalam penggunaannya sangat menguntungkan, tidak perlu banyak orang untuk mengoprasikannya, selain itu tidak membutuhkan lahan yang terlalu luas, dan waktu yang dibutuhkan pembakaran juga singkat yaitu 60 menit untuk kapasitas 60 kg.

*Key words* : Ruang Bakar Limbah, Incinerator

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR NOTASI .....	vii
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Perumusan masalah .....	1
I.3. Ruang Lingkup/Batasan masalah .....	2
I.4. Tujuan .....	2
I.5. Manfaat .....	2
I.6. Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
II.1. Pengertian <i>Incinerator</i> .....	4
II.2. Klasifikasi <i>Incinerator</i> .....	5
II.3. Konstruksi <i>Incinerator</i> .....	5
II.4. Cara Kerja <i>Incinerator</i> .....	6
II.5. Teori Dasar <i>Incinerator</i> .....	10
I.6. Analisa Perpindahan Panas/Tahanan Thermal .....	13
BAB III PERENCANAAN INCINERATOR .....	19
III.1. Analisa Pembakaran .....	19
III.2. Perhitungan Volume Ruang Bakar I .....	19
III.3. Perhitungan Volume Ruang Bakar II .....	26

Ridho Illahi Siregar   Pelaksanaan Tata Letak Ruang Bakar Rumah Sakit Dengan Kapasitas 60 Kg/Jam.....	28
III.4 Konstruksi Ruang Bakar.....	28
III.5 Analisa Gas Asap pada Waktu Tertentu.....	32
III.6 Analisa Perpindahan Panas/Isolasi Ruang Bakar.....	35
III.7 Perhitungan Cerobong.....	40
<b>BAB IV KESEIMBANGAN MASSA.....</b>	<b>42</b>
IV.1 Perhitungan Keseimbangan untuk Ruang Bakar I.....	42
IV.2 Perhitungan Keseimbangan untuk Ruang Bakar II.....	48
IV.3 Kapasitas Efisiensi Abu pada Ruang Bakar II.....	51
IV.4 Perhitungan Efisiensi Dapur.....	57
<b>BAB V HASIL PEMBAHASAN.....</b>	<b>58</b>
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>59</b>
VI.1 Kesimpulan.....	59
VI.2 Saran.....	61
<b>LITERATUR</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>GAMBAR KERJA</b>	



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. LATAR BELAKANG

Limbah pada hakekatnya merupakan sisa akhir dari penggunaan suatu benda yang dianggap tidak berguna lagi. Kita juga mengetahui suatu kegiatan akan menghasilkan sampah, seperti halnya: restoran, perumahan, hotel, tempat perbelanjaan, rumah sakit, dan lain sebagainya.

Sampah restoran, perumahan, hotel, dan tempat perbelanjaan tidak begitu sulit pengolahannya karena tidak begitu berbahaya jika akhirnya pembuangan memadai. Lain halnya dengan sampah rumah sakit jika penanggulangannya tidak serius akan berakibat fatal bagi lingkungan dan kesehatan sekitarnya, alasannya sampah rumah sakit lebih identik dengan infeksius (bahan menular).

Sebuah rumah sakit yang melayani masyarakat juga harus memiliki tanggung jawab akan kesehatan dan kenyamanan lingkungan. Agar hubungan masyarakat dan lingkungan bersih, sehat dan nyaman tercipta para rumah sakit harus mengolah limbah/ sampah yang tidak dipergunakan lagi hingga layak dibuang. Dengan adanya incinerator maka segala ancaman-ancaman yang berhubungan dengan kesehatan dan lingkungan akan teratasi dengan optimal dan bersahabat. Penggunaan incinerator merupakan jalan terbaik dalam mengatasi limbah rumah sakit.

## I.2. Perumusan Masalah

Penanganan limbah medis rumah sakit diperlukan cara yang khusus, hal ini dikarenakan limbah medis rumah sakit merupakan limbah yang berbahaya karena dapat menyebabkan penularan penyakit (infeksi). Oleh itu dibutuhkan alat yang berfungsi untuk memusnahkan limbah/sampah padat (basah/kering) dengan cara pembakaran. Alat tersebut dinamakan *incinerator*.

## I.3. Ruang Lingkup dan Sistematika Penulisan

### 1. Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penulisan pada perencanaan ini antara lain :

1. Analisa Perpindahan Panas
2. Ukuran Ruang Bakar
3. Perhitungan Cerobong
4. Efisiensi Dapur

## I.4. Tujuan

Adapun tujuan dari perencanaan incinerator ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai kalor (heating value) pada bahan yang digunakan, dengan menghitung komposisi bahan bakar.
2. Untuk mengetahui gas buang pada proses pembakaran sehingga total gas asap dapat dihitung, dengan menghitung system pembakaran pada burner.
3. Untuk menghindari kehilangan panas yang besar melalui dinding dapur, dengan menghitung system isolasi yang dipergunakan pada incinerator.

## I.5. Manfaat

Pada perencanaan incinerator ini banyak hal yang menjadi pendukung yaitu dengan mengetahui manfaatnya antara lain :

1. Masyarakat aman dari bahan menular
2. Berguna merekomendasikan pada Rumah Sakit tentang penggunaan *incinerator* dalam penanggulangan limbah medis
3. Bagi penulis berguna sebagai pengetahuan, dimana penulis dapat lebih memahami cara kerja *incinerator*

## I.6. Sistematika Penulisan

Adapun penulisan pada perencanaan ini meliputi :

Bab 1 Pendahuluan; Bab 2 Tinjauan Pustaka; Bab 3 Perencanaan *Incinerator*; Bab 4 Keseimbangan massa; Bab 5 Hasil Pembahasan; Bab 6 Penutup.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. Pengertian *Incenerator*

*Incinerator* adalah alat untuk memusnahkan limbah/sampah padat (basah/kering) dengan cara pembakaran. Penggunaan *incinerator* adalah cara yang tepat dan efektif untuk menjaga lingkungan supaya tetap bersih, nyaman dan tetap bebas dari bahan menular. Incinerator biasanya banyak digunakan untuk pembakaran sampah industri, pembakaran mayat atau kremasi, dan pembakaran sampah medis. Penanggulangan sampah domestic ataupun non domestic secara professional dapat dilakukan secara terpadu (Integreted Management Of Solid) antara lain adalah :

1. Daur ulang
2. Pengomposan
3. Pembakaran
4. Penimbunan

Penanggulangan sampah domestic dan non domestic kebanyakan dinegara maju menggunakan system pembakaran, terutama bagi Negara yang memiliki kawasan kecil. Contoh beberapa Negara yang menggunakan system pelupusan sampah dengan pembakaran adalah Jepang +/- 72 %, Denmark +/- 65%, dan Swedia +/- 55%. Dari kajian literature mengatakan bahwa dengan system pembakaran dapat mengurangi volume bahan buang atau sampah sebesar 90% sehingga kalau ada bahan beracun sudah mudah mengurusnya dalam tahap akhir (Calum R. Burner, 1993).

## II.2. Klasifikasi *Incenerator*

Sesuai dengan arewa dan pembakaran, maka *incenerator* dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. *Incenerator* untuk sampah Rumah Sakit (Hospital Waste)
2. *Incenerator* untuk sampah organik (Industri Waste)
3. *Incenerator* untuk pembakaran mayat (*Incenerator Crematorium*)

1. *Incinerator* untuk sampah Rumah Sakit (Hospital Waste)

*Incinerator* jenis ini biasanya ditempatkan ditempat-tempat yang berhubungan dengan bahan medis dengan ukuran yang tidak terlalu besar.

2. *Incenerator* untuk sampah organik (Industri Waste)

*Incinerator* ini digunakan sebagai tempat pembakaran sampah masyarakat, tempat-tempat perbelanjaan, hotel (penginapan), dll.

3. *Incenerator Crematorium*

*Incinerator* jenis ini biasanya digunakan oleh pengelola Vihara. Hanya untuk mengambil abu sesuai ajaran dan kepercayaan. Tempat-tempat lain yang mempergunakan jenis ini juga banyak digunakan laboratorium besar.

Dalam hal ini penulis memilih jenis *incinerator* untuk Rumah Sakit.

### II.3. Cara Kerja Incinerator

Incinerator yang penulis rancang bekerja dengan prinsip konversi energi dari energi panas menjadi energi kimia yang layak buang, sehingga limbah yang tadi mengandung infeksius (bahan menular) menjadi abu yang pengolahannya sudah optimal atau dengan kata lain layak buang. Berikut fungsi incinerator

#### 1. Ruang bakar

Ruang bakar merupakan tempat pembakaran limbah yang mengalami dua tahap proses yaitu proses pengeringan dan pembakaran

##### 1.1. Proses pengeringan

Limbah dikeringkan dengan bantuan panas yaitu dengan bantuan percikan api dari burner yang menggunakan bahan bakar diesel oil. Sehingga uap air yang terkandung dalam sampah dapat dikeluarkan, temperature pengeringan mencapai 300 °C.

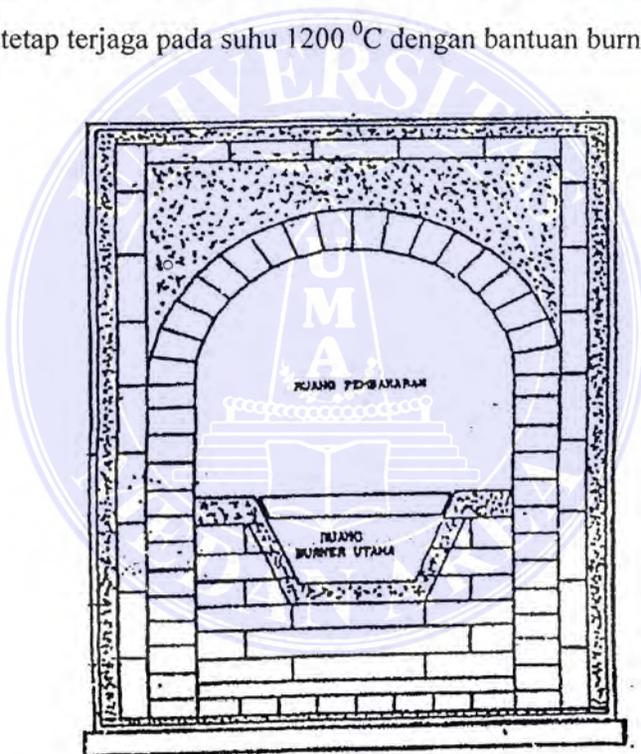
##### 1.2. Proses pembakaran

Pada proses burner 2-3 berfungsi secara otomatis guna mengoksidasi dalam bentuk oksida yang stabil CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan lain-lain. Untuk menjalankan oksidasi tersebut dibutuhkan pula suplay oksigen melalui blower dan temperature tetap terjaga pada suhu 1200 °C dengan bantuan burner tersebut.

Limbah dikeringkan dengan bantuan panas yaitu dengan proses percikan api dari burner menggunakan bahan bakar diesel oil. Sehingga uap air yang terkandung dalam sampah dapat dikeluarkan, temperatur pengeringan mencapai  $300^{\circ}\text{C}$ .

## 2. Proses Pembakaran

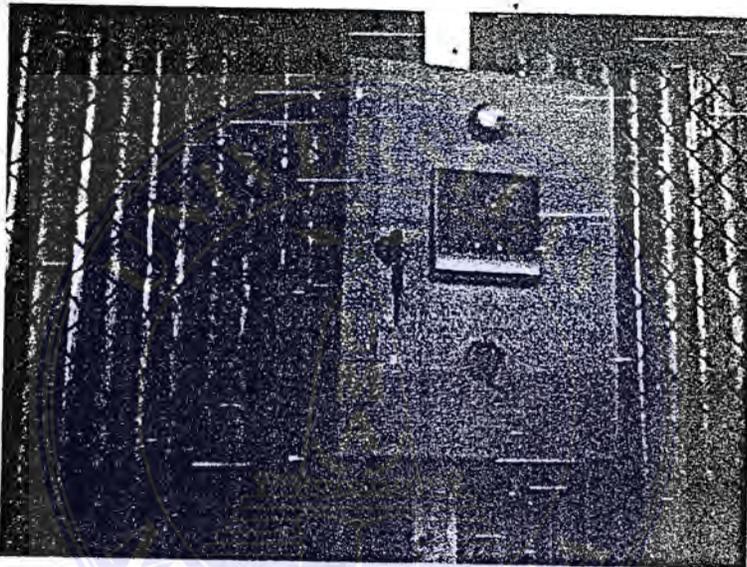
Pada proses burner 2 – 3 berfungsi secara otomatis guna mengoksidasi gas agar terikat dalam bentuk oksida yang stabil  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan lain-lain. Untuk menjalankan oksidasi tersebut dibutuhkan pula suplay oksigen melalui blower dan temperatur tetap terjaga pada suhu  $1200^{\circ}\text{C}$  dengan bantuan burner tersebut.



Gambar 2.1. Ruang Bakar *Incinerator*

### 2.4.2. Thermokopel

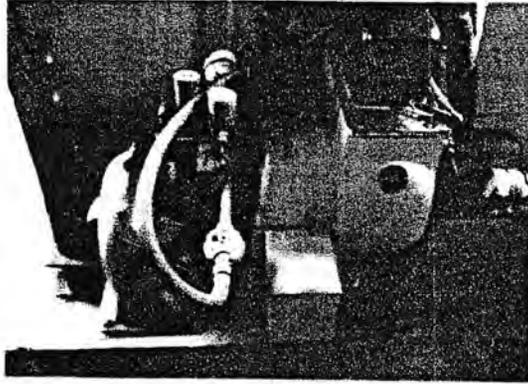
Untuk memungkinkan pengendalian proses pembakaran melalui pengendalian temperatur maka dipasang thermokopel (sebagai sensor temperature) pada masing-masing ruang baker yang dihubungkan melalui thermokontrol (panel kendali) untuk menjalankan atau mematikan burner dan blower secara otomatis. Manfaat lain dari pengendalian ini memudahkan kerja operator serta mengoptimalkan keefisienan penggunaan bahan bakar dari luar.



Gambar 2.2 Thermokopel Inchirator

### 2.4.3. Burner

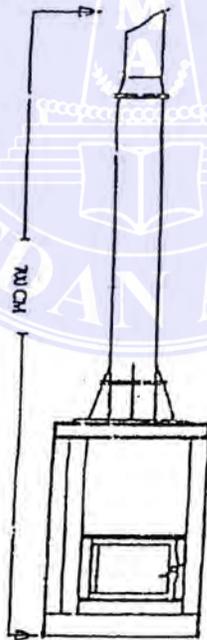
Burner berfungsi sebagai pengabutan bahan bakar agar bahan bakar tersebut dapat terbakar dengan sempurna, lihat Gambar 2.3



Gambar 2.3 Burner Minyak

#### 2.4.4. Cerobong (stack)

Berfungsi sebagai saluran gas buang dirancang sedemikian rupa dan memiliki tinggi yang cukup agar gas tersebut dapat dibuang tanpa mengganggu lingkungan sekitar.



Gambar 2.4. Cerobong

Dimana :

Q = Laju perpindahan kalor radiasi

$\sigma$  = Konstanta Stefan-Bolzman

$\varepsilon$  = Emisifitas benda

T = Suhu absolute

A = Luas permukaan

## 2.6. Analisa Perpindahan panas/Tahanan Thermal

Analisa perpindahan panas/tahan thermal dapat hitung dengan menggunakan persamaan berikut (JP. Holman, 1988 : 32) :

$$q = \frac{TA - TB}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta X}{KA} + \frac{1}{h_2 A}} \quad 2-4$$

Maka untuk perpindahan panas menyeluruh dapat dihitung dengan rumus berikut (JP. Hoiman, 1988:33) :

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{\text{menyeluruh}} \quad 2-5$$

Maka :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta X_1}{K_1} + \frac{\Delta X_2}{K_2} + \frac{\Delta X_3}{K_3} + \frac{\Delta X_4}{K_4} + \frac{1}{h_2}} \quad 2-6$$

### 2.4.1 Perhitungan keseimbangan massa pada ruang bakar I

Menurut (Tony Liwe, 2003 : 2) keseimbangan massa pada ruang bakar I dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Massa yang masuk} = \text{Massa yang keluar} \quad 2-7$$

$$M_f + M_{cpl} + M_{al} = M_{sl} + M_{fl} \quad 2-8$$

Dimana :

$M_f$  = Kapasitas sampah

$M_{cpl}$  = Massa dari hasil pembakaran

$M_{al}$  = Massa udara (Blower Burner)

$M_{sl}$  = Massa abu

$M_{fgl}$  = Massa gas asap

Dari Persamaan (2-7) dapat disubstitusikan menjadi :

$$M_{fgl} = M_f + M_{cp} + M_{al} - M_{sl} \quad 2-9$$

$$M_f = 60 \text{ kg/jam}$$

$$= 1 \text{ kg/min}$$

$$M_{cpl} = (M_{fcl}) + (M_{ab}) \quad 2-10$$

$$M_{fd} = BC \times Bq \times \rho \quad 2-11$$

Dimana :

$Bc$  = Kapasitas bahan bakar untuk ruang bakar

$Bq$  = Jumlah burner

$\rho$  = Densitty bahan bakar

Persamaan terhadap kecepatan burner ( $M_{ab}$ ) dapat dihitung dengan rumus

berikut (Toni liwe, 2003 : 4):

$$M_{ab} = Q \times \Delta a \times Bq \quad 2-12$$

$$Q = V.A \quad 2-13$$

$$V = \frac{\pi.d.n}{60} \quad 2-14$$

$$A = \frac{\pi.d^2}{4}$$

$$120 f = pn \quad 2-15$$

$$n = \frac{120 f}{p}$$

$$\Delta a = \text{Density udara} = 0,075 \text{ lb/ft}^3$$

$$M_{cpl} = M_{fdl} + M_{abl}$$

$$M_{fdl} = \text{Masa bahan bakar}$$

$$M_{abl} = \text{Masa udara}$$

Persamaan untuk massa pembakaran ( $M_{a1}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Toni liwe, 2003 : 4) :

$$M_{a1} = (Qa) (\Delta a) (Jb) \quad 2-16$$

Dimana :

$$Qa = \text{Ukuran kapasitas}$$

$$\Delta a = \text{Density udara}$$

$$Jb = \text{jumlah blower}$$

Untuk menghitung massa gas abu dapat menggunakan rumus berikut (Toni liwe, 2003 : 4):

$$M_{s1} = A_{ac} + A_f \quad 2-17$$

Dimana :

$$A_{ac} = \text{Abu sampah}$$

$$A_f = \text{Abu bahan bakar}$$

$$A_f = (M_{fd}) (\% \text{ massa abu}) \quad 2-18$$

#### 2.4.2. Perhitungan keseimbangan massa untuk ruang bakar II

Keseimbangan massa pada ruang bakar II dapat dihitung dengan rumus berikut (Tony Liwe, 2003 : 4) :

$$M_{f1} + M_{cp2} + M_{a2} = M_{s2} + M_{fg2} \quad 2-20$$

$$M_{fg2} = M_{fg1} + M_{cp2} + M_{a2} + M_{s2} \quad 2-21$$

Dimana :

$$M_{fg1} = \text{Massa gas asap dari ruang bakar I}$$

$$M_{cp2} = \text{Massa hasil pembakaran (burner ruang bakar II)}$$

$$M_{a2} = \text{Massa udara (dari burner ruang bakarII)}$$

$$M_{s2} = \text{Massa gas abu (hasil dari ruang bakar II)}$$

$$M_{fg2} = \text{Massa gas asap keluar dari cerobong}$$

Untuk massa hasil pembakaran pada ruang bakar II ( $M_{cp}$ ) dapat dihitung melalui persamaan berikut (Tony Liwe, 2003 : 5):

$$M_{cp2} = M_{fd2} + M_{ab2} \quad 2-22$$

Dimana :

$$M_{fd2} = (B_c) (\rho) \quad 2-23$$

$$B_c = (Tf) (TB) \quad 2-24$$

$M_{fd2}$  = Massa bahan bakar

$T_f$  = Kapasitas bahan bakar

$BT$  = Jumlah burner

$P$  = density bahan bakar diesel

$M_{ab2}$  = Massa udara

$$M_{ab2} = \frac{60(Q)(\Delta a)(3,281)^3 (1)}{2,250} \quad 2-25$$

Dimana :

$$Q = V.A$$

$\Delta a$  = Density udara

Udara massa abu hasil pembakaran pada ruang bakar II ( $M_{s2}$ ) dapat dihitung melalui persamaan berikut (Tony Liwe, 2003 : 5):

$$M_{s2a} = A_{mfg1} + A_{f2} \quad 2-26$$

$A_{mfg1}$  = Abu gas asap dari ruang bakar I

$A_{f2}$  = ( $A_{mfd2}$ ) (% massa abu)

#### 2.4.3. Kapasitas efisiensi abu (%) pada ruang bakar II SCDRE (Secondari

Chamber Dust efisiensi, %)

Massa abu yang masuk = Massa abu yang keluar

$$M_{s1a} + M_{cp2a} = M_{s2a} + M_{fg2a} \quad 2-27$$

$$M_{s1a} = 30\% (M_{s1})$$

$$M_{cp2a} = (M_{fd2}) (\text{massa abu } \%)$$

$$M_{fg2a} = M_{s1a} + M_{cp2a} - M_{s2a} \quad 2-28$$

$$M_{s2a} = M_{s1a} + \text{massa hasil abu pembakaran dari ruang bakar II}$$

$$\text{Kapasitas 80\%} = (M_{s2a}) (80\%)$$

$$\rho_{\text{aktual}} = \rho_c (C_t) (C_p) \quad 2-29$$

$$\text{Kapasitas 60\%} = (M_{s2a}) (60\%)$$

$$\text{Kapasitas 40\%} = (M_{s2a}) (40\%)$$



## BAB 3

### PERENCANAAN INCINERATOR

#### 3.1. Analisa Pembakaran

##### 3.1.1. Bahan *Incinerator*

Untuk kesempurnaan pembakaran sampah pada *incinerator* maka dibutuhkan bahan bakar. Adapun fungsi dari bahan bakar tersebut adalah untuk memperoleh panas.

Pada umumnya bahan bakar yang digunakan *incinerator* terdiri dari:

1. Bahan bakar padat (solid fuel)

Misalnya: 1. Batu bara

2. Kayu

2. Bahan bakar cair (Liquid fuel)

Misalnya: 1. Bensin (gasolin)

2. Minyak tanah (kerosene)

3. Solar (diesel)

3. Bahan bakar gas (gaseus fuel)

Misalnya : 1. LNG

2. LPG

Dalam perencanaan ini bahan bakar yang akan digunakan pada alat *incinerator* adalah:

1. Solar (diesel)

Bahan bakar solar (diesel) digunakan apabila sampah yang akan dibakar memiliki kadar air yang tinggi

## 2. Minyak tanah (kerosene)

Bahan bakar minyak tanah (kerosine) digunakan apabila sampah yang akan dibakar memiliki kadar air yang lebih rendah

Alasan pemilihan bahan bakar dikarenakan

### a. Keuntungan bahan bakar cair

1. Nilai kalor pembakaran cukup tinggi
2. Proses pembakaran berlangsung cepat
3. Effisiensi pembakaran besar
4. Mudah diperoleh

### b. Kerugian

Bahaya kebakaran lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar padat

## 3.1.2. Nilai kalor bahan bakar

Nilai kalor (heating valupe) adalah proses pembakaran 1 kg bahan bakar terbakar secara sempurna. Nilai kalor ini dibagi atas 2 bagian antara lain:

1. High Heating Value (HHV) atau nilai kalor atas adalah banyaknya kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran 1 kg bahan bakar sehingga dimanfaatkan untuk penguapan sehingga kandungan air dari bahan bakar akan habis

2. Low Heating Value (LHV) atau nilai kalor bawah adalah banyaknya kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran 1kg bahan bakar tanpa kandungan air pada bahan bakar tersebut.

Tabel 3.1 Komposisi Bahan Bakar Diesel

Bahan Bakar	Persentase %
Carbon (C)	86,3
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	12,3
Sulfur (S)	0,9
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	0,25
Abu (A)	0,2
Air (M)	0,05
Total	100%

A. Syamsir Muin "mesin-mesin konversi energi" (1986) Hal 155

Harga untuk High Heating Value (HHV) dan Low Heating Value (LHV) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (A. Syamsir M, 1986 : 160) :

$$\begin{aligned}
 \text{HHV} &= 8100.C + 34400.H_2 + 2500.S \text{ Kkal/kg} \\
 &= 33950.C + 144200.H_2 + 9400.S \text{ Kj/kg} \\
 &= (8100 \times 0,863) + (34400 \times 0,123) + (2500 \times 0,009) \\
 &= 11244,05 \text{ Kkal/kg} \\
 &= 47120,05 \text{ Kj/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{LHV} &= \text{HHV} - 241 \times [M + (9 \times H_2)] \text{ Kj/kg} \\
 &= 47120,05 - 2411 \times [0,0005 + (9 \times 0,123)] \\
 &= 44449,867 \text{ Kj/kg} \\
 &= 10606,829 \text{ Kkal/kg}
 \end{aligned}$$

### 3.1.3. Komposisi dan Nilai Baka: Sampah Medis

Dari hasil survey sampah Medis Rumah Sakit Tembakau Deli ditemukan persentase komposisi sampah Medis Rumah Sakit PTPN II (Tembakau Deli).

Tabel 3.2. Persentase komposisi sampah Medis Rumah Sakit Tembakau Deli Medan

No	Bahan Bakar	Persentase %
1	Botol infus	15
2	Plastik	35
3	Jarum suntik/ spuit benang	25
4	Kain kasa	10
5	Jaringan tubuh sisa operasi	5
6	Sisa kuret/ darah beku	2,5
7	Desinfektan/ karbol	3,5
8	Formaldehit	2,5
9	Jaringan mati	1,5
Total		100%

*Data diperoleh dari hasil survey*

Dari hasil survey maka hasil analisa komposisi sampah diatas diperoleh pembakaran nilai kalor bawah (LHV) = 7500 Kj/ kg

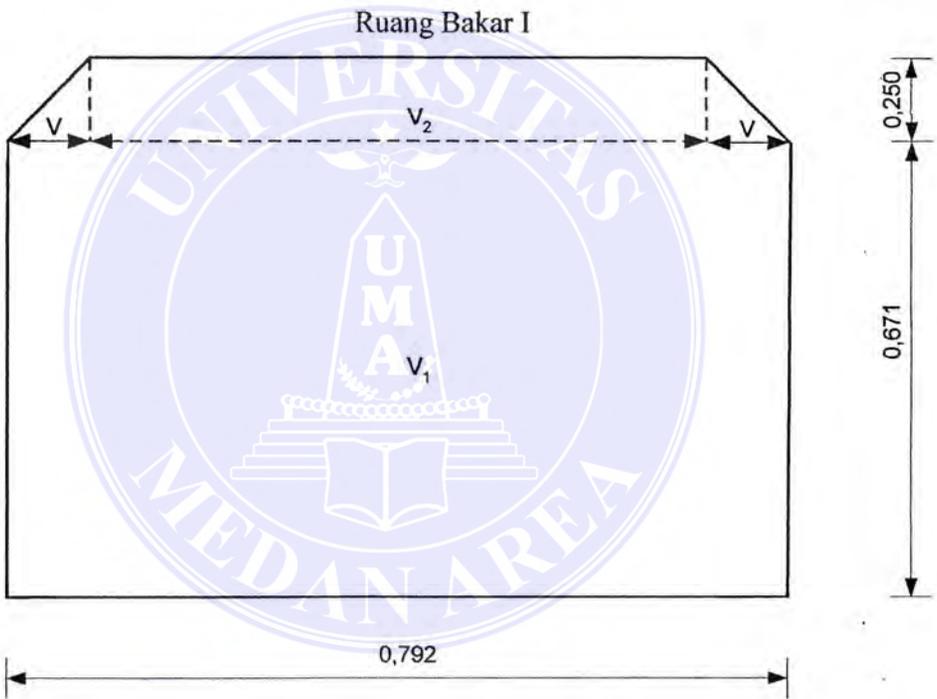
Abu = 2%

## Perhitungan Volume Ruang Bakar I

Pada perhitungan volume ruang bakar I (Primary Combustion Chamber) telah diketahui untuk data-data dalam perencanaan ini yang meliputi:

Ukuran ruang bakar:

- a. Ukuran luar = 1,1 m x 1,1 m x 1,4 m (L x W x H)
- b. Ukuran dalam = 0,671 m x 0,792 m x 0.921 m (L x W x H)
- Kapasitas incinerator = 45-60 kg/jam



Gambar 3.1. Dimensi Ruang Bakar I

Maka volume ruang bakar I (Primary Combustion Chamber) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VT_1 = V_1 + V_2 + V_3 \quad 3-1$$

$$V_1 = L \times W \times H \quad 3-2$$

Dimana:

$$L \text{ (panjang)} = 0,921 \text{ m}$$

$$W \text{ (lebar)} = 0,792 \text{ m}$$

$$H \text{ (tinggi)} = 0,671 \text{ m}$$

Volume ( $V_1$ ) pada ruang bakar I dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3-2 yaitu:

$$\begin{aligned} V_1 &= (0,921) (0,792) (0,671) \\ &= 0,489 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Untuk mencari harga  $V_2$  yaitu:

$$V_2 = L \times W \times H$$

Dimana:

$$L \text{ (panjang)} = 0,921 \text{ m}$$

$$W \text{ (lebar)} = 0,292 \text{ m}$$

$$H \text{ (tinggi)} = 0,250 \text{ m}$$

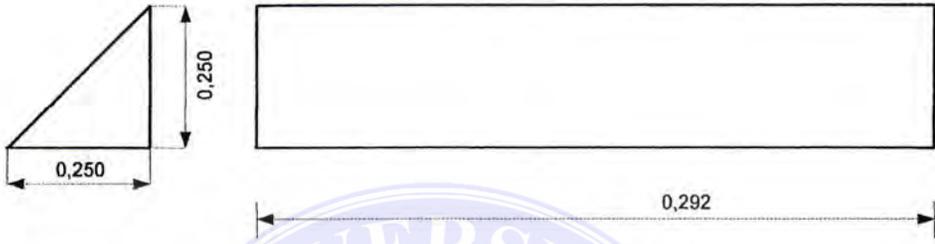
Jadi:

$$\begin{aligned} V_2 &= (0,921) (0,292) (0,250) \\ &= 0,067 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$= 0,067 \text{ m}^3$$

Mencari harga volume bidang segi tiga ( $V_3$ ) yaitu :

$$V_3 = \frac{1}{2} \times \text{Luas alas} \times \text{Tinggi}$$



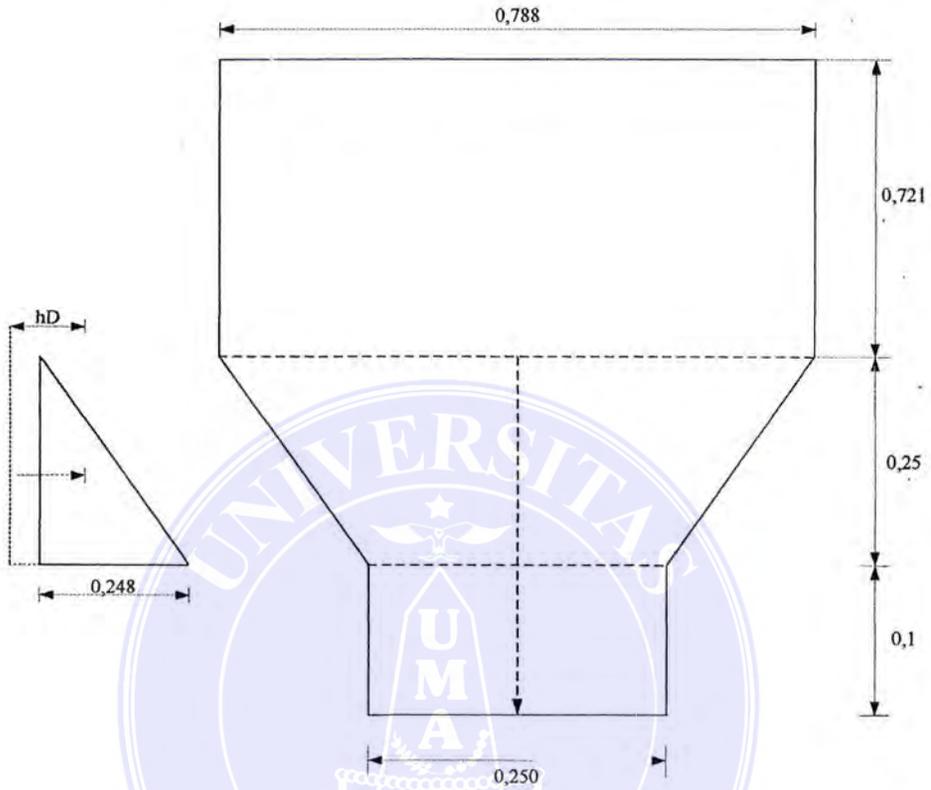
Dari persamaan 3-3 diperoleh:

$$\begin{aligned} V_3 &= \left( \frac{1}{2} (0,250 \times 0,250 \times 0,921) \right) + \left( \frac{1}{2} (0,250 \times 0,250 \times 0,921) \right) \\ &= \frac{1}{2} (0,0575) + \frac{1}{2} (0,0575) \\ &= 0,02878 + 0,02878 \\ &= 0,0575 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Maka volume ruang bakar I (Primary Combustion Chamber) dapat dihitung dengan rumus pada persamaan 3-1 yaitu:

$$\begin{aligned} VT_1 &= V_1 + V_2 + V_3 \\ &= 0,489 + 0,0671 + 0,0575 \\ &= 0,613 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### 3.2. Perhitungan Volume Ruang Bakar II (Secondary Combution Chamber)



Gambar 3.2. Dimensi Ruang Bakar II

Volume ruang bakar II (Secondary Combution Chamber) dapat dihitung dengan rumus berikut (Calvin R.Burner, 1993 : 4) :

$$V_T = V_c + V_t + V_r \quad 3-4$$

Dimana :

$V_c = \text{Volume bidang silinder}$

$$V_c = \pi r^2 h \quad 3-5$$

Dimana:

$$\pi = 3,14$$

$$r = \text{Jari-jari (0,292)}$$

$$h = \text{Tinggi (0,721)}$$

Jadi dari persamaan 3-5 didapat:

$$\begin{aligned} V_c &= 3,14 (0,292)^2 (0,721) \\ &= 0,193 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$V_t = \text{Volume bidang segi empat}$

$$V_t = \pi \times hD \times \frac{1}{2} \times (a \times b) \quad 3-6$$

Dimana:

$$hD = 0,15 + \frac{0,292 - 0,15}{3} = 0,197 \text{ m}$$

$$a = 0,25$$

$$b = 0,248$$

$$\pi = 3,14$$

Maka didapat dari persamaan 3-6 yaitu:

$$\begin{aligned} V_t &= \pi \times 0,197 \times \frac{1}{2} \times (0,250 \times 0,248) \\ &= 0,0191 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$V_r$  = Volume bidang empat persegi panjang

$$V_r = \pi r^2 h$$

Dimana :

$$r = 0,15$$

$$h = 0,35$$

jadi melalui persamaan 3-7 didapat:

$$\begin{aligned} V_r &= \pi \times (0,15)^2 (0,35) \\ &= 0,0191 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga volume pada ruang bakar II (Secondary Combution Chamber)

dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus 3-4 yaitu :

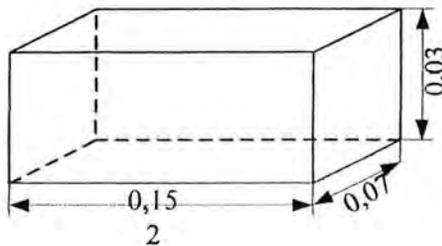
$$\begin{aligned} V_T &= V_c + V_t + V_r \\ &= 0,193 + 0,0191 + 0,0247 \\ &= 0,237 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### 3.2. Kontruksi Ruang Bakar

Adapun perencanaan ruang bakar pada *incinerator* ini meliputi :

1. Jumlah batu tahan api yang digunakan untuk ruang bakar I

Untuk dimensi batu tahan api



**Diketahui:**

$$\text{Panjang} = 0,152 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 0,07 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 0,03 \text{ m}$$

Maka untuk dimensi batu dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{Dimensi batu} &= P \times L \times T \\ &= 0,152 \times 0,07 \times 0,03 \\ &= 0,000319 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga jumlah batu pada volume ruang bakar diperoleh:

$$\text{Jumlah batu} = \frac{\text{Volume ruang bakar}}{\text{Dimensi batu}} - \text{Banyaknya sekat semen}$$

**Diketahui:**

$$\text{Volume ruang bakar} = 0,613 \text{ m}^3$$

$$\text{Dimensi batu} = 0,000319 \text{ m}^3$$

$$\text{Tebal sekat semen} = 0,001 \text{ m}$$

Untuk mencari banyaknya sekat dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Banyaknya sekat semen} = \frac{\text{Volume ruang bakar}}{\text{Dimensi sekat semen}}$$

$$= \frac{0,613}{0,001}$$

$$= 613$$

Jadi:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah batu} &= \frac{0,613}{0,000319} - 613 \\ &= 1921 - 613 \\ &= 1308 \end{aligned}$$

Jumlah batu tahan api yang digunakan untuk ruang bakar II

Banyaknya skat semen =  $\frac{\text{volume ruang bakar}}{\text{tebal skat semen}}$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,327}{0,001} \\ &= 327 \end{aligned}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah batu} &= \frac{0,327}{0,000319} - 327 \\ &= 1025 - 327 \\ &= 698 \end{aligned}$$

2. Banyaknya semen portlan ( tahun api) yang digunakan ununtuk ruang bakar I dapat dicari dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Banyaknya semen} &= \text{Lebar batu} \times \text{tinggi batu} \times \text{tebal skat semen} \times \text{banyak skat semen} \\ &= 0,07 \times 0,3 \times 0,001 \times 613 \\ &= 0,000021 \times 613 \\ &= 0,01287 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

**Banyaknya semen portlan (tahan api) yang digunakan untuk ruang bakar II**

$$\begin{aligned}\text{Banyaknya semen} &= 0,07 \times 0,3 \times 0,001 \times 327 \\ &= 0,000021 \times 327 \\ &= 0,00686 \text{ m}^3\end{aligned}$$

**3. Banyaknya plat baja yang digunakan untuk ruang bakar I**

Dimana diketahui tebal plat baja = 0,006 m

Maka = tebal plat baja x volume ruang bakar I

$$\begin{aligned}&= 0,006 \times 0,613 \\ &= 0,00367 \text{ m}^3\end{aligned}$$

**Banyaknya plat baja yang digunakan untuk ruang II**

Maka = tebal plat baja x volume ruang bakar

$$\begin{aligned}&= 0,006 \times 0,327 \\ &= 0,00196 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Dari perencanaan ruang bakar diperoleh data-data untuk harga beberapa meterial yaitu:

1. Batu tahan api pada temperatur 1100 °C

$$K = 1.09 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$$

2. Semen portlan

$$K = 0.29 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$$

3. Baja karbon tanah temperatur 400 °C

$$K = 42 \text{ w/in}^{\circ}\text{C} \text{ dengan tebal } 0.006 \text{ m}$$

### 3.5. Analisa Gas Asap pada Waktu tertentu

#### 3.5.1. Perhitngan gas asap pada waktu tertentu untuk ruang bakar I

Untuk menghitung gas buang pada proses pembakaran dalam perencanaan *incinerator* ini maka terlebih dahulu data sebagai berikut :

1. Volume ruang bakar
2. Suplai udara setiap burner
3. kapasitas udara tekan untuk pembakaran

Perencanaan meliputi :

1. Kapasitas bahan bakar = 8-12 Lit/jam = 0,008 – 0.012 m<sup>3</sup>
2. Jumlah Burner = 2 buah
3. Kapasitas udara burner = 3 m<sup>3</sup>/menit = 0,05 m<sup>3</sup>/s
4. Kapasitas udara tekanan untuk pembakaran = 10 m<sup>3</sup>/menit = 0,16 m<sup>3</sup>/s
5. Jumlah blower = 1 buah

Maka total gas asap (Fgt) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

(Calvin R. Burner, 1993 :3) :

$$\text{Total gas asap (Fgt)} = \frac{\text{Nilai bakar (cp)}}{3-8} + (\text{Kapasitas udara burner}) \times (\text{jumlah blower})$$

$$\text{Hasil pembakaran (cp)} = (\text{kapasitas bahan bakar}) (\text{jumlah burner}) + (\text{kapasitas udara burner}) (\text{jumlah burner})$$

$$= \left[ \frac{(12)(2)}{(1 \times 10^3)(3,6 \times 10^3)} \right] + [2 \times 0,005]$$

$$= 0,10 \text{ m}^3/\text{s}$$

Jadi total gas asap ( $F_{gt}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3-8 yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Total gas asap ( } F_{gt} \text{)} &= 0,10 + ( 0,16 \times 1 ) \\ &= 0,26 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Maka untuk ketetapan waktu telah diperoleh dengan mensubstitusikan pada persamaan rumus berikut ( Calvin R. Burner, 1993: 3 ) :

$$\begin{aligned} \text{Untuk ketetapan waktu} &= \frac{\text{Volume ruang bakar I}}{F_{gt}} \\ &= \frac{0,613}{0,26} \\ &= 2,4 \text{ sec} \end{aligned}$$

### 3.5.2. Perhitungan gas pada waktu tertentu untuk ruang bakar II

Data perencanaan meliputi :

1. Kapasitas bahan bakar = 12-20 lit/jam
2. Jumlah burner = 1 buah
3. Kapasitas udara burner =  $3,5 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,058 \text{ m}^3/\text{s}$

Maka dari persamaan 3-8 diperoleh yaitu:

Total gas asap ( $F_{gt}$ ):

$$= \left[ \frac{(30 \times 1)}{(1 \times 10^3)(3,6 \times 10^3)} \right] + [1 \times 0,058]$$

$$= 0,0583 \text{ m}^3/\text{s}$$

Untuk ketetapan waktu =  $\frac{V}{F_{gt1} + F_{gt}}$

$$= \frac{0,237}{0,26 + 0,0583}$$

$$= 0,74 \text{ sec}$$

### 3.5.3 Perhitungan gas asap

Kalkulasi kecepatan gas asap (V) dapat diketahui dengan rumus berikut

(Calvin R. Burner, 1993:2):

$$V = \frac{Q}{A} \times \frac{T_1}{T_2}$$

3-10

Dimana:

Q = Total volume gas asap

Q = Gas asap pada ruang bakar I + gas asap pada ruang bakar II

$$= 0,26 + 0,0583$$

$$= 0,318 \text{ m}^3/\text{s}$$

T<sub>1</sub> = Temperatur gas asap ruang bakar I ± 200 °C = 473 °K

T<sub>2</sub> = temperatur udara luar = ± 20 °C = 293 °K

A = Luas penampang cerobong

Ddiameter cerobong = 380 mm = 0,38 m

A = Luas penampang cerobong

D = Diameter cerobong = 380 mm = 0,38 m

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$= \frac{\pi \times (0,38 \text{ m})^2}{4}$$

Maka kecepatan gas asap (V) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3-10 yaitu:

$$V = \frac{0,318}{0,113} \times \frac{473}{293}$$

$$= 2,814 \times 1,614$$

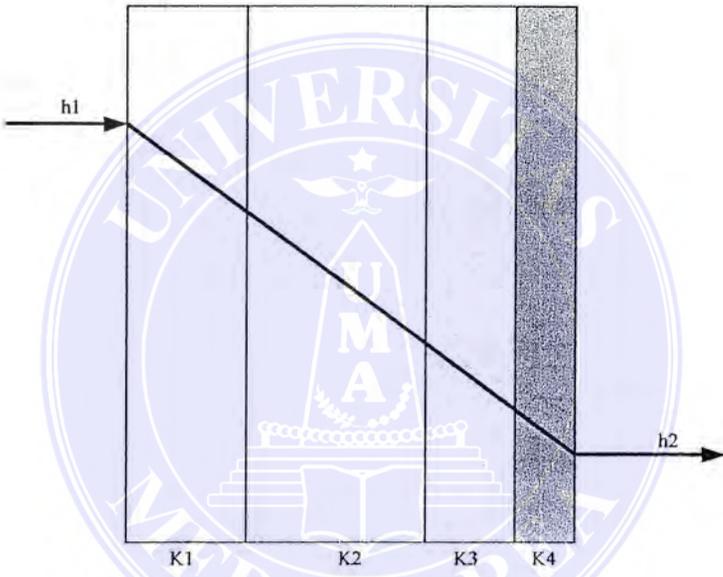
$$= 4,5 \text{ m/s}$$

### 3.6. Analisa Perpindahan Panas/ Isolasi Ruang Bakar

Pada perencanaan ini yang digunakan pada ruang bakar adalah untuk menghindari terjadinya kehilangan panas yang besar melalui dinding dapur, maka dinding dapur tersebut perlu di isolasi, sehingga kehilangan panas dapat tekan sekecil mungkin. Karena pada dapur temperaturnya sangat tinggi, maka isolasi yang dibutuhkan mempunyai konduktivitas yang rendah dan tahan terhadap panas yang tinggi.

Penulisan pada rencana ini merencanakan isolasi yang akan digunakan adalah:

1. Batu tahan api pada temperatur 1100 °C  
 $K = 1.09 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$  dengan tebal pelat 0.152 m
2. Tanah diatomedicietak dan dibakar tahan pada temperatur 900 °C  
 $K = 0.31 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$  dengan tebal 0.2 m
3. Semen portlan  
 $K = 0.29 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$  dengan tebal 0.05 m
4. Baja karbon tahan pada temperatur 400 °C  
 $K = 42 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$  dengan tebal 0.006 m



Gambar 3.3 Tahanan thermal dalam ruang bakar

Perpindahan kalor melalui dinding bidang datar,  $q$  dinyatakan sebagai berikut yaitu : melalui persamaan 2-4

$$q = \frac{TA - TB}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{\Delta X}{KA} + \frac{1}{h_2 A}} \quad 3-11$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh U dapat defenisikan dengan hubungan sebagai berikut yaitu : persamaan 2-5

$$q = U A \Delta T \text{ menyeluruh} \quad 3-12$$

$$\Delta T = (Ta - Tb)$$

Dimana :

Ta = Temperatur dalam ruang bakar

Tb = Temperatur luar

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta X_1}{K_1} + \frac{\Delta X_2}{K_2} + \frac{\Delta X_3}{K_3} + \frac{\Delta X_4}{K_4} + \frac{1}{h_2}} \quad 3-13$$

$$H_1 = Nu \frac{K}{d} \quad 3-14$$

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad 3-15$$

Dimana pada tabel A1. Diperoleh sifat-sifat gas pada temperatur 800 °C

(Jp. Holman "Perpindahan Kalor")

$$\rho = 0,3108 \text{ kg/m}^3$$

$$K = 0,06850 \text{ w/m}^0\text{C}$$

$$\mu = 42,48 \times 10^{-6} \text{ kg/m.s}$$

$$Pr = 0,736$$

$$V = \text{Kecepatan aliran} = 4,5 \text{ m/s}$$

$$d = \text{Diameter dalam /tinggi /panjang bagian dalam bidang dinding } 0,971 \text{ m} \\ (\text{tinggi})$$

Maka dari persamaan 3-15 dapat diketahui untuk harga Reynold yaitu:

$$\text{Re} = \frac{0,3108 \times 4,5 \times 0,971}{42,28 \cdot 10^{-6}} \\ = 32120,165$$

Untuk mencari harga koefisien perpindahan panas dapat disubstitusikan melalui persamaan 3-14 yaitu:

$$H_i = \text{Nu} \frac{K}{d}$$

Dimana

$$\text{Nu} = 0,023 \text{ Re}^{0,8} \text{ Pr}^{0,4} \\ = 0,023 (32120,165)^{0,8} (0,736)^{0,4} = 82,016$$

Sehingga :

$$H_i = 82,016 \frac{0,06850}{0,971} \\ = 5,786$$

$$H_2 = 1,32 \left( \frac{\Delta T}{d} \right)^{1/4} \\ = 1,32 \left( \frac{1200 - 30}{0,971} \right)^{1/4} \\ = 7,777$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{5,786} + \frac{0,13}{1,09} + \frac{0,2}{0,31} + \frac{0,05}{0,29} + \frac{0,006}{42} + \frac{1}{7,777}$$

$$\frac{1}{U} = 1,2585$$

$$U = \frac{1}{1,2585}$$

$$= 0,794$$

Jadi perpindahan kalor melalui dinding bidang datar persatuan luas penampang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3-12 yaitu:

$$\begin{aligned} \frac{q}{A} &= U \cdot \Delta T \\ &= 0,794 (1200-30) \\ &= 928,98 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} T_t &= 1200 - \frac{928,98}{5,786} \\ &= 1039,443^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Jadi untuk perpindahan panas tiap-tiap lapisan adalah :

$$\begin{aligned} \frac{q}{A} &= \frac{K_1(T_t - T_1)}{\Delta x_1} \\ T_1 &= 1039,443 - \frac{928,98}{1,09} \times 0,152 \\ &= 909,89^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$T_2 = 909,89 - \frac{928,98}{0,31} \times 0,2$$

$$= 310,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\frac{q}{A} = \frac{K_3 (T_1 T_3)}{\Delta X_3}$$

$$T_3 = 310,55 - \frac{928,98}{0,29} \times 0,05$$

$$= 124,759 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 1.7 Perhitungan Cerobong

Sebagai laluan gas buang dari ruang bakar maka perencanaan ini harus dilengkapi dengan cerobong (stack). Untuk mendapat penyebaran gas asap ke udara bebas (atmosfer) maka dibutuhkan cerobong asap.

Pada perencanaan ini digunakan sistem tarikan paksa kombinasi karena rancangan ini menggunakan 2 buah blower antara lain :

1. Blower tekan (untuk mensuplay udara pembakaran)
2. Blower isap (untuk membuang gas asap)

$$T_1 = \text{Temperatur gas asap ruang bakar I} \pm 200 \text{ } ^\circ\text{C} = 473 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = \text{Temperatur udara luar} = \pm 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 293 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$H = 7 \text{ m (direncanakan)}$$

$$A = \text{Luas penampang cerobong}$$

$$D = \text{Diameter cerobong} = 380 \text{ mm} = 0,38$$

## BAB 5

### HASIL PEMBAHASAN

Setelah melakukan pengamatan dari hasil rancangan yang cukup sederhana ini maka penulis memperoleh hasil perencanaan yaitu :

1. Komposisi limbah medis yang dibakar dalam incinerator sesuai dengan hasil pengamatan selama melakukan survey dirumah sakit PTPN II.
2. Pada analisa bahan bakar ini nilai bahan bakar diperoleh pada :  
HHV = 11244 Kkal/kg  
LHV = 10606,829 Kkal/kg
3. Dengan waktu yang singkat pembakaran limbah cukup efisien dalam waktu 60 menit/ jam limbah dengan kapasitas 60 kg akan hangus terbakar.
4. Abu hasil pembakaran yang cukup kecil yaitu 2-5% dari kapasitas pembakaran
5. Ukuran ruang bakar relatif kecil dan dapat ditempat diareal yang tidak begitu luas.
6. Gas buang yang dikeluarkan oleh incinerator tidak berbahaya dengan merancang alat yang mampu menekan dan mengurangi bahan lingkungan.
7. Bahan bakar yang dibakar memiliki keuntungan 12-13 ltr/ jam dengan mudah diperoleh tanpa harus memakai biaya yang terlalu besar.

## BAB VI

### PENUTUP

#### VI.1 Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan dari hasil rancangan yang cukup sederhana ini maka penulis mengambil kesimpulan bahwa:

1. Penggunaan alat incinerator ini sangat menguntungkan, terlihat dari sangat singkatnya waktu yang dibutuhkan untuk pembakaran limbah yaitu 60 menit dengan kapasitas 60 kg dan limbah tersebut akan hangus terbakar.
2. Gas buang yang dikeluarkan oleh incinerator tidak berbahaya karena alat ini mampu menekan dan mengurangi bahaya lingkungan dengan abu hasil pembakaran cukup efisien yaitu hanya dengan 2-5% dari hasil kapasitas pembakaran
3. Bahan bakar yang digunakan memiliki keuntungan 12-30 liter/jam.

#### VI.2. Saran

Dalam perencanaan Incinerator limbah medis ini penulis banyak mendapat hambatan dan kesulitan dalam memperoleh data-data teknis, sehingga dalam perencanaan ini masih banyak kekurangan telitian dalam perhitungan rancangan tersebut, untuk itu penulis berharap bagi semua pihak manapun untuk memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan yang akan datang.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Calvin R. Burner, 1993. Hazardus. "waste incinerator" New Yorke: Mc Graw-Hill, Inc
2. Herman Widodo Soemitro, 1984. Seri Buku Scaum, "Mekanika Fluida & Hidraulika" Edisi II. Penerbit Erlangga.
3. J.P. Holman, 1988, "Perpindahan Kalor" Edisi ke VI. Penerbit Erlangga
4. J.A. Mukomoko, 1982 "Dasar Penyusunan Anggaran Biaya Bangun". Penerbit C.V.Kurnia Esa. Jakarta
5. Ken's, "Mechanical Engenering Hand Book" (Power Volume)
6. Outher bridge, 1991. "Limbah Padat di Indonesia" (Penerjemah : Mochtar Lubis dan wira Jhamtan) Jakarta: Yayasan obor Indonesia
7. Syamsir A. Muin, 1998 "Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)" Penerbit CV. Rajawali, Jakarta
8. Tony Liwe, 2003. "Polution Enginering Smokes Incenerator" Model BCA. Seri Kembang Selangor Darul Ehasan Malaysia

## Faktor-faktor konversi untuk Berbagai Ekuivalen Dimensional (Lanjutan)

### Massa

$$\begin{aligned}1 \text{ kg} &= 1000 \text{ g} &= 2,2046 \text{ lbm} \\1 \text{ kg} &= 6,8521 \times 10^{-2} \text{ slung} \\1 \text{ ton} &= 1000 \text{ kg} &= 1 \text{ Mg}\end{aligned}$$

### Gaya

$$\begin{aligned}1 \text{ N} &= 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 &= 0,2248 \text{ lb} &= 10^5 \text{ dyne} \\1 \text{ dyne} &= 1 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2 \\1 \text{ lb} &= 4,4482 \text{ N}\end{aligned}$$

### Energi

$$\begin{aligned}1 \text{ j} &= 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \\1 \text{ Btu} &= 778, 16 \text{ ft} \cdot \text{lbf} = 1,055 \times 10^{21} \text{ erg} = 252 \text{ kal} = 1055,0 \text{ J} \\1 \text{ kal} &= 4, 186 \text{ J} \\1 \text{ kkal} &= 4186 \text{ J} &= 1000 \text{ kal} \\1 \text{ kw} \cdot \text{H} &= 3,6 \text{ MJ}\end{aligned}$$

### Daya

$$\begin{aligned}1 \text{ w} &= 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3 &= 1 \text{ J/s} &= 1,341 \cdot 10^{-3} \text{ Hp} &= 0, 7376 \text{ ft} \cdot \text{lb/s} \\1 \text{ Hp} &= 550 \text{ ft} \cdot \text{lbf/ s} = 2545 \text{ Btu/ h} = 0,746 \text{ kw} \\1 \text{ kw} &= 1000 \text{ w} &= 3412 \text{ Btu/h} &= 1,341 \text{ Hp}\end{aligned}$$

### Tekanan

$$\begin{aligned}1 \text{ pa} &= 1 \text{ N/m}^2 &= 1,4504 \times 10^{-4} \text{ lbf/in}^2 \\1 \text{ atm} &= 101,325 \text{ kpa} = 1,01325 \text{ bar} = 14, 7 \text{ lb/in}^2 = 760 \text{ mm Hg} \\1 \text{ atm} &= 29,9 \text{ in hg} = 33,8 \text{ ft H}_{2\text{O}} = 14,696 \text{ lbf/in}^2 = 760 \text{ torr} \\1 \text{ bar} &= 100 \text{ kpa} &= 10^5 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$