

Experimental Study of Heat Transfer on Household Scale Mini Incinerators

Wahyu H. Piarah^{1,*}, Zuryati Djafar^{1,*}, Thomas Tjandinegara¹, Zulkifli Djafar¹, Putri Githa¹

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin – Makassar

*Corresponding author: wahyupiarah@unhas.ac.id; zuryatidjafar@unhas.ac.id

Abstract. This Incineration technology is an alternative to biological waste treatment methods such as composting and biogas. The purpose of this study was to determine the heat loss on the body and incinerator chimney with three variations of waste density (compacted, medium compacted, non-compacted) and three variations of the chimney's height (1 meter, 2 meters, and 3 meters). The method has been done by taking the measured temperature data directly through the thermocouple and display temperature. From the convection heat transfer and radiation analysis, the largest amount of heat is found in the height variation of the 3-meter chimney with compacted solid waste (9 kg).

Abstrak. Teknologi insinerasi merupakan salah satu alternatif untuk metode pengolahan limbah *landfill* dan proses biologis seperti pengomposan dan biogas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan panas yang hilang pada badan dan cerobong insinerator pada tiga variasi kepadatan sampah (dipadatkan, dipadatkan sedang, tidak dipadatkan) dan tiga variasi tinggi cerobong (1 meter, 2 meter, dan 3 meter). Metode penelitian yang telah dilakukan dengan mengambil data temperatur yang terukur langsung melalui termokopel dan display temperatur. Dari hasil analisa perpindahan panas konveksi dan radiasi maka jumlah panas terbesar terdapat pada variasi tinggi cerobong 3 meter dengan sampah dipadatkan (9 kg).

Keywords: insinerator, karakteristik, perpindahan panas, pengelolaan, sampah.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Kota Makassar merupakan kota terbesar di kawasan Indonesia Timur dan terbesar kedua di luar Pulau Jawa setelah kota Medan. Makassar memiliki wilayah seluas 199,26 km² dengan jumlah penduduk sebesar 1,700,571 juta jiwa [1] yang menghasilkan volume timbunan sampah 800 ton per hari [2].

Insinerasi (*incineration*) 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 kimiawi [3].

Insinerator adalah tungku pembakaran untuk mengolah limbah padat, yang mengkonversi materi padat (sampah) menjadi materi gas, dan abu, (*bottom ash dan fly ash*). Insinerasi merupakan proses pengolahan limbah padat dengan cara pembakaran pada temperature lebih dari 800° C untuk mereduksi sampah mudah terbakar (*combustible*) yang sudah tidak dapat didaur ulang lagi, membunuh bakteri, virus, dan kimia toksik [4].

Proses insinerasi berlangsung melalui 3 tahap [5], yaitu:

- Mengubah air dalam sampah menjadi uap air, hasilnya limbah menjadi kering yang akan siap terbakar
- Proses pirolisis, yaitu pembakaran tidak sempurna, dimana temperature belum terlalu tinggi
- Proses pembakaran sempurna. Insinerasi dapat mengurangi berat sampah 70-80 % atau volume 85-95 %.

Limbah padat yang baik untuk insinerasi ialah limbah kertas, plastik, dan karet. Limbah padat kertas sangat bagus untuk diinsenerasi karena mudah dibakar dan menghasilkan panas yang besar namun kertas dengan tinta cetak sedikit berbahaya karena jika dibakar akan menghasilkan senyawa toksin sejenis dioksin yang terbang di udara sehingga membahayakan kesehatan manusia.

Limbah padat plastik polinilklorida jika dibakar akan menghasilkan panas dan dioksin serta senyawa racun lainnya. Limbah racun ini akan didetoksifikasi oleh panas dengan suhu tinggi sehingga struktur kimianya berubah dan tidak membahayakan [6].

Kehilangan Panas pada Insinerator

Pada keadaan ideal, semua panas yang dimasukkan ke tungku digunakan untuk memanaskan muatan. Tetapi pada prakteknya banyak panas yang hilang. Untuk menghitung kehilangan panas pada insinerator bisa didapatkan dengan cara ilmu perpindahan panas.

Ilmu Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi karena perbedaan temperatur di antara benda atau material. Perpindahan panas yang terjadi pada insinerator yaitu:

a. Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas dari tempat yang bertemperatur tinggi ke tempat yang bertemperatur rendah di dalam medium yang bersinggungan langsung. [7]

$$\dot{Q}_{\text{kond}} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{1}$$

Dimana:

- Q_{kond} = Laju Panas Konduksi (kJ/det) atau Watt
- k = Daya hantar konduktivitas termal (W/m²°C)
- A = Luas penampang (m²)
- ΔT = perbedaan temperatur (°C)
- Δx = jarak (m), diukur tegak lurus terhadap permukaan

b. Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas antara permukaan solid dan berdekatan dengan fluida yang bergerak atau mengalir dan itu melibatkan pengaruh konduksi dan aliran fluida [7].

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA(T_s - T_\infty) \tag{2}$$

Di mana:

- Q_{conv} = Laju Panas konveksi (kJ/det) atau Watt
- h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²°C)
- A = Luas penampang (m²)
- T_s = Temperatur permukaan (°C)
- T_∞ = Temperatur sekeliling (°C)

c. Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (foton) akibat dari perubahan konfigurasi elektronik atom atau molekul [7].

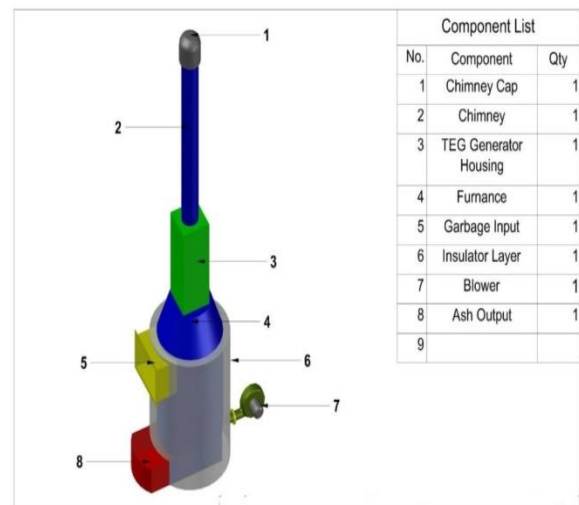
$$\dot{Q}_{\text{radiasi}} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{\text{surr}}^4) \tag{3}$$

Di mana :

- Q = Panas (kJ/det) atau Watt
- ϵ = Emisivitas dari permukaan
- σ = Konstanta Stefan-Boltzmann (5,67 x10⁻⁸ W/m².K⁴)
- A = Luas permukaan (m²)
- T_s = Temperatur permukaan (K)
- T_{surr} = Temperatur sekeliling (K)

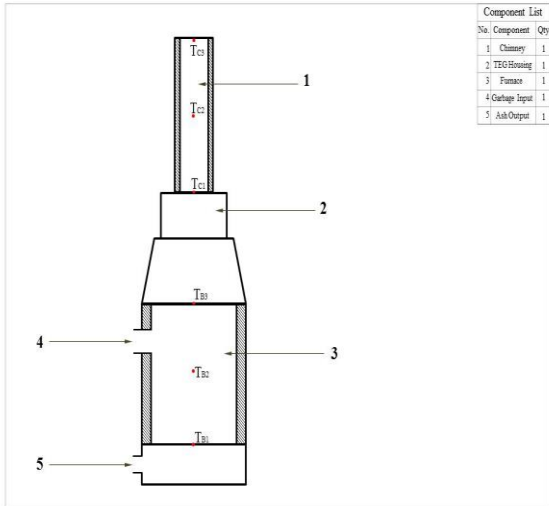
Metode Penelitian

Perancangan Insinerator skala Laboratorium meliputi dua bagian penting yaitu perancangan bagian sistem pembakaran insinerator dari awal proses pembakaran hingga hasil pembakaran, dan untuk mengidentifikasi sampah serta kehilangan panas yang dialami dan karakteristik panasnya.



Gambar 1. Desain Insinerator

Termokopel dipasang pada sisi cerobong dan badan insinerator untuk mendapatkan karakteristik temperatur pada bagian dasar, tengah, serta ujung cerobong dan badan insinerator.



Gambar 2. Posisi Termokopel pada Cerobong dan Badan Insinerator

Hasil dan Pembahasan

Perhitungan Panas yang Hilang ke sekeliling

• Perpindahan Panas Konveksi

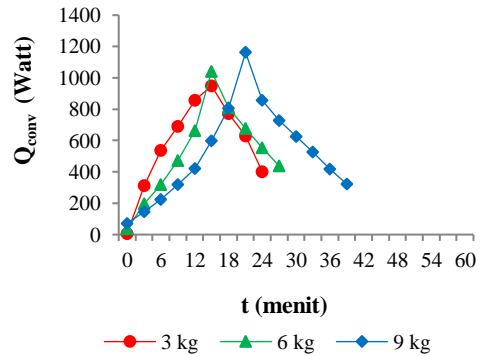
Pada variasi cerobong 1 meter dengan sampah tidak dipadatkan (3kg), *peak point* berada pada menit ke-15 dan diketahui Temperatur udara (T_{∞}) sebesar 32°C sehingga hasil analisa perpindahan panas konveksi untuk variasi cerobong 1 meter pada titik ke-15 diperoleh T_{avg} sebesar $90,21^{\circ}\text{C}$ dengan bilangan Ra_L sebesar $5,5 \times 10^8$. Karena bilangan Rayleigh berkisar 10^4-10^9 , sehingga untuk mendapatkan bilangan Nusselt sebesar 90,4974 dengan bilangan koefisien perpindahan panas konveksinya diperoleh sebesar $5,5879 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ sehingga laju panas konveksi yang dihasilkan sebesar 258,854 Watt

Cara yang sama digunakan untuk semua titik pada setiap variasi cerobong insinerator kemudian panas yang didapat pada setiap komponen insinerator (badan atas, peralihan, badan bawah, dan cerobong) dijumlahkan sehingga diperoleh perhitungan perpindahan panas konveksi pada masing-masing variasi cerobong.

Variasi Cerobong 1 meter

Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara laju panas konveksi dan waktu pembakaran sampah tidak dipadatkan (3kg), sampah dipadatkan setengah (6kg) dan sampah dipadatkan (9kg) dengan menggunakan cerobong 1 meter. Jumlah panas tertinggi diperoleh pada variasi sampah dipadatkan

(9 kg) dengan besar panas 1161,68 Watt pada menit ke-21 dengan proses pembakaran selama 39 menit. Selanjutnya pada variasi sampah tidak dipadatkan (3 kg) jumlah panas tertinggi diperoleh pada menit ke-15 dengan besar panas 949,88 Watt dan proses pembakaran berlangsung selama 24 menit.

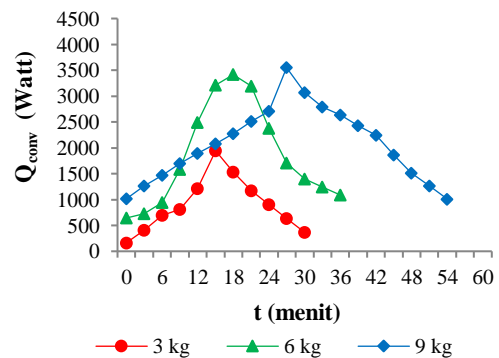


Gambar 3. Laju Panas Konveksi (Q_{conv}) terhadap Waktu (t) pada Variasi Cerobong 1 meter

Kemudian pada variasi sampah dipadatkan setengah (6 kg), proses pembakaran berlangsung selama 27 menit dan jumlah panas tertinggi dicapai pada menit ke-15 dengan besar panas 1041,04 Watt. Terlihat bahwa seiring kenaikan waktu maka panas akan meningkat hingga pada besar tertentu dan akan turun lagi sampai akhir pembakaran.

Variasi Cerobong 2 meter

Gambar 4 memperlihatkan hubungan antara laju panas konveksi dan waktu pembakaran sampah tidak dipadatkan (3 kg), sampah dipadatkan setengah (6 kg) dan sampah dipadatkan (9 kg) dengan menggunakan cerobong 2 meter.



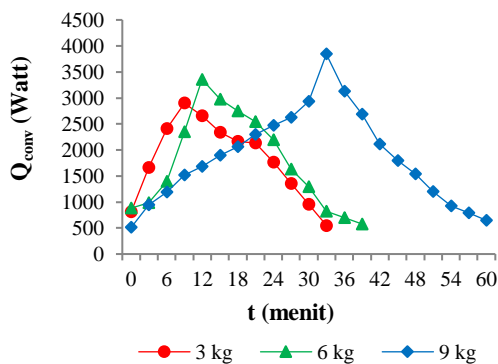
Gambar 4. Laju Panas Konveksi (Q_{conv}) terhadap Waktu (t) pada Variasi Cerobong 2 meter

Jumlah panas tertinggi diperoleh pada variasi sampah dipadatkan (9kg) dengan besar panas 3550,73 Watt pada menit ke-27 dengan proses pembakaran selama 54 menit. Sementara itu, pada variasi sampah tidak dipadatkan (3kg) jumlah panas tertinggi diperoleh pada menit ke-15 dengan besar

panas 1943,76 Watt dan proses pembakaran berlangsung selama 30 menit. Kemudian pada variasi sampah dipadatkan setengah (6kg), proses pembakaran berlangsung selama 36 menit dan jumlah panas tertinggi dicapai pada menit ke-18 dengan besar panas 3415,53 Watt. Terlihat bahwa seiring kenaikan waktu maka panas akan meningkat hingga pada besar tertentu dan akan turun lagi sampai akhir pembakaran.

Variasi Cerobong 3 meter

Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara laju panas konveksi dan waktu pembakaran sampah tidak dipadatkan (3 kg), sampah dipadatkan setengah (6 kg) dan sampah dipadatkan (9 kg) dengan menggunakan cerobong 3 meter. Jumlah panas tertinggi diperoleh pada variasi sampah dipadatkan (9 kg) dengan besar panas 3842,13 Watt pada menit ke-33 dengan proses pembakaran selama 60 menit. Sementara itu, pada variasi sampah tidak dipadatkan (3kg) jumlah panas tertinggi diperoleh pada menit ke-9 dengan besar panas 2898,91 Watt dan proses pembakaran berlangsung selama 33 menit. Kemudian pada variasi sampah dipadatkan setengah (6 kg), proses pembakaran berlangsung selama 39 menit dan jumlah panas tertinggi dicapai pada menit ke-12 dengan besar panas 3357,88 Watt. Terlihat bahwa seiring kenaikan waktu maka panas akan meningkat hingga pada besar tertentu dan akan turun lagi sampai akhir pembakaran.



Gambar 5. Laju Panas Konveksi (Q_{conv}) terhadap Waktu (t) pada Variasi Cerobong 3 meter

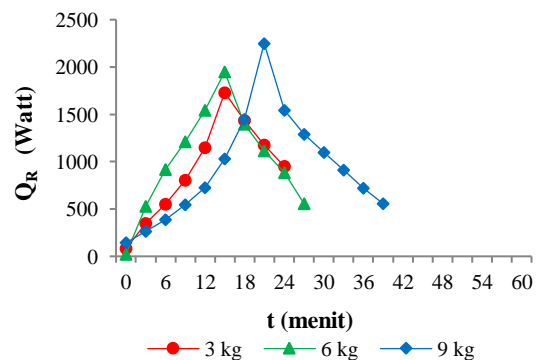
Dari hasil analisa perpindahan panas konveksi, dapat dilihat bahwa Q terbesar berada pada variasi cerobong 3 meter dengan jenis sampah dipadatkan (9kg). Terlihat bahwa seiring kenaikan waktu, maka panas akan meningkat kemudian turun lagi sampai pada akhir pembakaran karena seiring dengan berjalannya proses pembakaran, panas yang keluar keudara semakin banyak.

• Perpindahan Panas Radiasi

Pada variasi cerobong 1 meter dengan sampah tidak dipadatkan (3kg), *peak point* berada pada menit ke-15 dan diketahui Temperatur udara (T_{∞}) sebesar 32°C sehingga hasil analisa perpindahan panas radiasi untuk variasi cerobong 1 meter pada titik ke-15 diperoleh laju panas radiasi yang dihasilkan sebesar 454,158 Watt. Dengan cara yang sama untuk semua titik pada setiap variasi cerobong insinerator kemudian panas yang didapat pada setiap komponen insinerator dijumlahkan sehingga diperoleh perhitungan perpindahan panas radiasi pada setiap variasi cerobong.

Variasi Cerobong 1 m

Gambar 6 memperlihatkan hubungan antara laju panas radiasi dan waktu pembakaran sampah waktu pembakaran sampah tidak dipadatkan (3 kg), sampah dipadatkan setengah (6 kg) dan sampah dipadatkan (9 kg) dengan menggunakan cerobong 1 meter. Jumlah panas tertinggi diperoleh pada variasi sampah dipadatkan (9 kg) dengan besar panas 2249.78 Watt pada menit ke-21 dengan proses pembakaran selama 39 menit. Sementara itu, pada variasi sampah tidak dipadatkan (3 kg) jumlah panas tertinggi diperoleh pada menit ke-15 dengan besar panas 1731,41 Watt dan proses pembakaran berlangsung selama 24 menit. Kemudian pada variasi sampah dipadatkan setengah (6 kg), proses pembakaran berlangsung selama 27 menit dan jumlah panas tertinggi dicapai pada menit ke-15 dengan besar panas 1949,22 Watt. Terlihat bahwa seiring kenaikan waktu maka panas akan meningkat hingga pada besar tertentu dan akan turun lagi sampai akhir pembakaran.

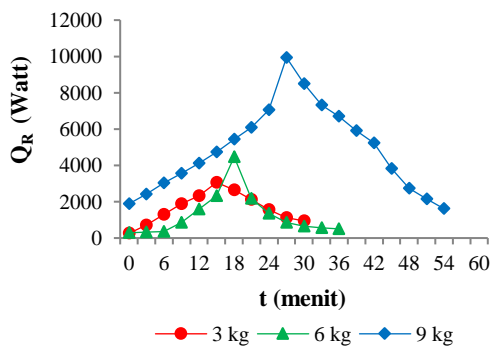


Gambar 6. Grafik Laju Panas Radiasi (Q_R) terhadap Waktu (t) pada Variasi Cerobong 1m

Variasi Cerobong 2 m

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara laju panas radiasi dan waktu pembakaran sampah tidak

dipadatkan (3 kg), sampah dipadatkan setengah (6 kg) dan sampah dipadatkan (9 kg) dengan menggunakan cerobong 2 meter. Jumlah panas tertinggi diperoleh pada variasi sampah dipadatkan (9 kg) dengan besar panas 9939,067 Watt pada menit ke-27 dengan proses pembakaran selama 54 menit. Sementara itu, pada variasi sampah tidak dipadatkan (3 kg) jumlah panas tertinggi diperoleh pada menit ke-15 dengan besar panas 3061,95 Watt dan proses pembakaran berlangsung selama 30 menit. Kemudian pada variasi sampah dipadatkan setengah (6 kg), proses pembakaran berlangsung selama 36 menit dan jumlah panas tertinggi dicapai pada menit ke-18 dengan besar panas 4470,22 Watt. Terlihat bahwa seiring kenaikan waktu maka panas akan meningkat hingga pada besar tertentu dan akan turun lagi sampai akhir pembakaran.



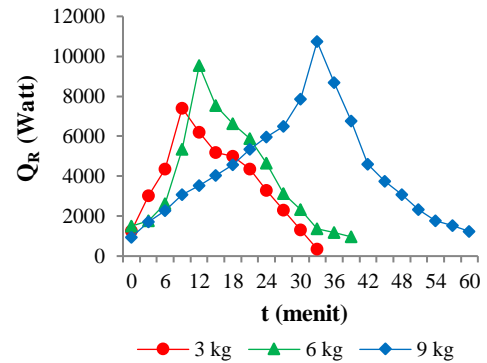
Gambar 7. Laju Panas Radiasi (Q) terhadap Waktu (t) pada Variasi Cerobong 2m

Variasi Cerobong 3 m

Gambar 8 memperlihatkan hubungan antara laju panas konveksi dan waktu pembakaran sampah tidak dipadatkan (3 kg), sampah dipadatkan setengah (6 kg) dan sampah dipadatkan (9 kg) dengan menggunakan cerobong 3 meter. Panas tertinggi diperoleh pada variasi sampah dipadatkan (9 kg) dengan besar panas 10732,02 Watt pada menit ke-33 dengan proses pembakaran selama 60 menit. Sementara itu, pada variasi sampah tidak dipadatkan (3 kg) jumlah panas tertinggi diperoleh pada menit ke-9 dengan besar panas 7406,75 Watt dan proses pembakaran berlangsung selama 33 menit. Kemudian pada variasi sampah dipadatkan setengah (6 kg), proses pembakaran berlangsung selama 39 menit dan jumlah panas tertinggi dicapai pada menit ke-12 dengan besar panas 9536,62 Watt. Terlihat bahwa seiring kenaikan waktu maka panas akan meningkat hingga pada besar tertentu dan akan turun lagi sampai akhir pembakaran.

Dari hasil analisa perpindahan panas radiasi, didapat bahwa jumlah panas terbesar berada pada

variasi cerobong 3 meter dengan jenis sampah dipadatkan (9kg).



Gambar 8 Laju Panas Radiasi (Q_R) terhadap Waktu (t) pada Variasi Cerobong 3m

Terlihat bahwa seiring kenaikan waktu, maka panas akan meningkat kemudian turun lagi sampai pada akhir pembakaran karena seiring dengan berjalannya proses pembakaran, panas yang keluar ke udara semakin banyak.

Kesimpulan

Dari hasil analisa perpindahan panas konveksi dan radiasi maka jumlah panas terbesar terdapat pada variasi tinggi cerobong 3 meter dengan sampah dipadatkan (9kg) sebesar 3842,133 kW (Q_{conv}) dan 10732,022 kW (Q_{rad}).

Penghargaan

Terima kasih kami ucapkan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) yang telah memberikan dukungan pendanaan pada penelitian ini.

Referensi

- [1] BPS. 2016. *Jumlah Penduduk Kota Makassar Menurut Kecamatan Tahun 2016*.
- [2] E.Hakim. 2016. *Produksi Sampah Makassar Melonjak 100%, Daya Tampung TPA Minim - Regional Liputan6*.
- [3] D.E.Nasional.2003. *Outlook Energi Indonesia*.
- [4] H.Christian. 2008. *Modifikasi Sistem Burner*. pp. 4–20.
- [5] N.T.Fadly. 2014. *Menentukan Konsentrasi NaOH sebagai Penyerap CO2 dari Proses Pembakaran Limbah Secondary Chamber*, Thesis, pp. 6–39.
- [6] Latief, A.S. 2010. *Manfaat dan Dampak Penggunaan Insinerator terhadap Lingkungan*.
- [7] A.Y.Cengel. 2002. *Heat Transfer; A Practical Approach*, 2nd edition. New York:McGraw-Hill.