

Kaji Eksperimental Efek Ketinggian Cerobong Terhadap Karakteristik Pembakaran Pada Unit Tungku Garam Semi Modern

Faisal¹, Khairil², Zahrul Fuadi³

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Unimal.
Jl. Cot Tgk. Nje, Reuleut, Aceh Utara.
email : faisal mes96@gmail.com

^{2,3)} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.
Jl. Tgk. Abdurrauf No. 7, 23111 Darussalam, Banda Aceh

Abstract

Lives of traditional salt farmers increasingly concerned about the unfavorable business caused by the difficulty in obtaining fuel. The use of traditional stoves for salt farmers also without a good smoke channel, making smoke pollution that is harmful to health, and also interferes with the farmers and the environment while producing salt. Therefore, it should be considered a solution to address both of these issues by improving the combustion process that occurs in the combustion chamber and by utilizing the exhaust gas heat as a preheater in the salt process. Good combustion requires sufficient air supply with a certain excess air so that the combustion process is perfect. Air supply can be done by utilizing the natural drought affected by the height of the chimney. Utilization of flue gas has been done by creating a configuration flue gases channel through the multiport stove. Testing with chimney height variation needs to be done to get the optimal height so that stove can work with a good performance to produce salt. The results showed that the optimum height of the chimney in the semi-modern salt stove is at a height of 1.55m with a thermal efficiency of 48.6%.

Keywords :Stove, Chimney, Natural drought, Excess air, Thermal efficiency

1. Pendahuluan

Tungku pemanas yang selama ini digunakan oleh petani garam Aceh untuk merebus air pentirisan merupakan tungku tradisional berbahan bakar kayu yang sangat sederhana. Tungku ini hanya memiliki satu lubang yang dimaksudkan untuk memasukan bahan bakar ke ruang bakar. Tungku ini sangat tidak efisien dan mengeluarkan asap yang cukup banyak ketika dioperasikan, hal ini diperkirakan karena tidak terjadinya proses pembakaran yang baik akibat tidak adanya suplai udara yang cukup ke ruang bakar [1]. Polusi asap dari hasil pembakaran biomassa ini sangat mengganggu kenyamanan, kesehatan dan juga terhadap lingkungan. Polusi asap di dalam dapur sangat berbahaya bagi kesehatan terutama bagi ibu-ibu hamil serta anak-anak yang ikut serta ketika mereka bekerja [2][3]. Keuntungan tak seberapa yang diperoleh kemudian harus dikeluarkan lagi untuk membiayai pengobatan terhadap penyakit akibat polusi asap. Oleh karena itu perlu dipikirkan suatu saluran yang baik untuk mengatasi polusi asap tersebut [4].

Penghematan energi dapat dilakukan dengan memperbaiki efisiensi terhadap tungku. Bahan bakar akan menurun jika efisiensi meningkat [5]. Beberapa upaya dapat dilakukan adalah dengan meningkatkan efisiensi perpindahan panas ke belanga dan juga efisiensi terhadap proses pembakaran bahan bakarnya di dalam ruang bakar [6].

Beberapa peneliti telah menggunakan system multi pot (banyak belanga) untuk memanfaatkan potensi gas buang pada tungku berbahan bakar

biomassa. Berdasarkan pertimbangan tersebut kami telah melakukan beberapa modifikasi terhadap unit tungku dengan konfigurasi multi pot yang dapat memanfaatkan panas buang gas asap. Potensi panas buang gas asap dapat digunakan sebagai pemanas awal air pentirisan. Perubahan dari model tungku tersebut menghendaki konstruksi dan dimensi dari cerobong yang sesuai. Penggunaan cerobong dengan ketinggian yang sesuai untuk menghasilkan tarikan alamiah (natural drought) sehingga dapat mensuplai sejumlah udara yang mencukupi ke ruang bakar untuk proses pembakaran yang baik.

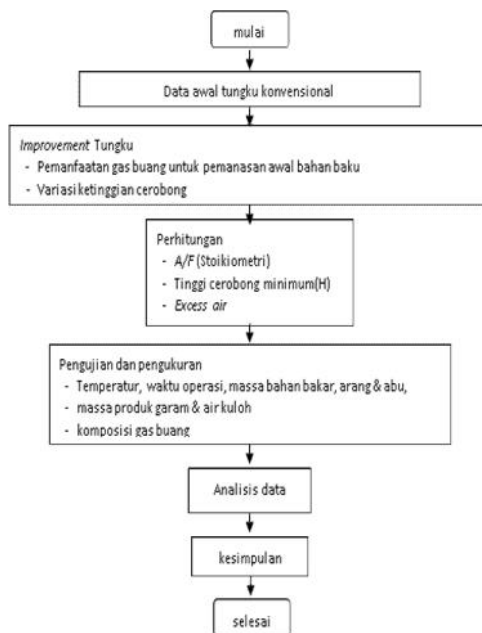
Suplai udara lebih (excess air) biasanya perlu dilakukan untuk memastikan proses pembakaran mendekati sempurna. Walau demikian, terlalu banyak udara berlebih akan mengakibatkan kehilangan panas. Ketika udara lebih disuplai beserta udara tersebut selain oksigen terdapat juga zat nitrogen yang tidak bereaksi yang ikut serta, nitrogen dapat menyerap panas hasil pembakaran sekaligus dapat menurunkan temperatur pembakaran dalam ruang bakar, tentu ini adalah hal yang merugikan.

Komposisi gas buang merupakan salah satu variable yang juga perlu diamati untuk mengetahui rasio udara-bahan bakar yang dibakar, suplai udara dan bagaimana proses pembakaran yang terjadi. Berdasarkan kenyataan tersebut maka perlu dilakukan suatu kajian eksperimental efek cerobong terhadap karakteristik pembakaran pada tungku sehingga dapat dilakukan optimasi guna mendapatkan dimensi cerobong yang sesuai.

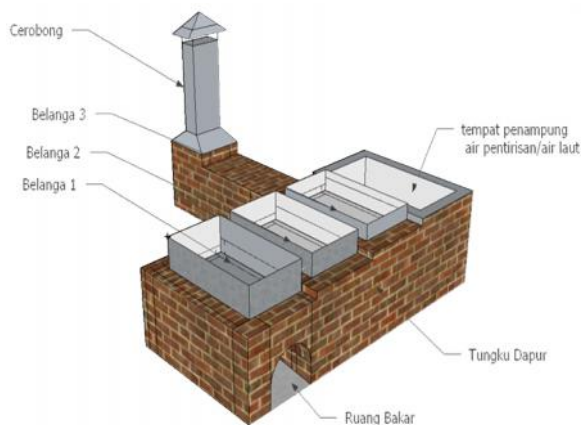
2. Metode Penelitian

Secara sederhana penelitian yang dilakukan dapat diuraikan atas beberapa tahapan pekerjaan seperti yang diperlihatkan dalam diagram alir penelitian pada Gambar 1.

Gambar 2 memperlihatkan gambar tungku garam semi modern yang diuji dan bagaian - bagiannya.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Tungku semi modern yang diuji dan bagian-bagiannya

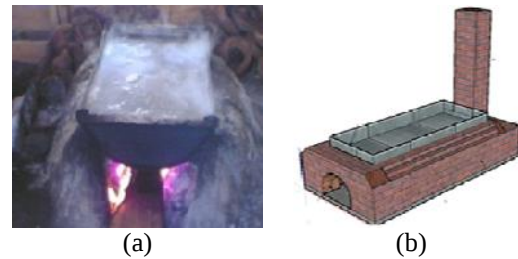
3. Kajian Pustaka

3.1. Tungku Biomasa pada Proses Produksi Garam

Gambar 3 (a) memperlihatkan bentuk tungku tradisional yang saat ini masih banyak digunakan oleh petani garam di Aceh dalam menjalankan usahanya. Hasil penelitian terhadap tungku tradisional ini diketahui efisiensinya hanya 12,9 %.

Setiawan, dkk., telah melakukan beberapa pengembangan terhadap alat produksi garam tradisional sehingga menghasilkan alat yang lebih

hemat energi yang dinamai dengan tungku gahegi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3 (b). Efisiensi tungku gahegi yang dirancang ini hingga 19,75%. Hasil pengamatan dan pengukuran pada tungku gahegi bahwa gas buang dari tungku ini mempunyai temperatur 200 °C. hal ini merupakan suatu yang potensial untuk memanfaatkan panas dari gas buang tersebut sebagai pemanas awal dari brine/air pentirisan (bahan baku pembuatan garam) [7].

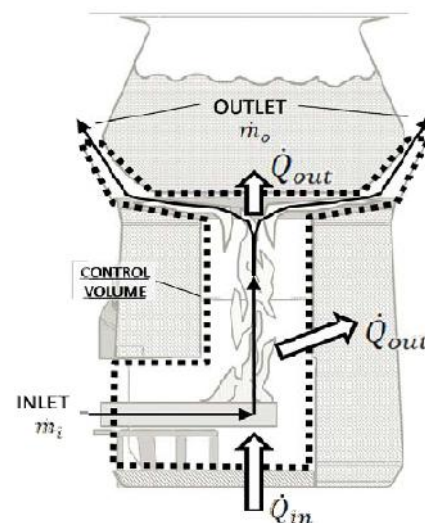


Gambar 3. (a) Tungku tradisional dan (b) Tungku gahegi

3.2. Analisis Termodinamika Tungku Pemanas

Daniel menerapkan hukum pertama termodinamika seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Laju perpindahan energi aliran massa ke atau dari suatu sistem dapat dinyatakan seperti persamaan (1)[8].

Efisiensi tungku dengan bahan bakar kayu adalah dapat dinyatakan seperti persamaan (2). Efisiensi pembakaran didefinisikan sebagai persentase dari energi kimia yang tersimpan dalam bahan bakar yang diubah menjadi energi panas. Efisiensi pembakaran spesifik untuk masing-masing tungku dan bahkan untuk tungku tradisional tiga – batu, efisiensi pembakarannya bisa di atas 90%. Berbeda dengan perilaku ini, efisiensi perpindahan panas untuk tungku malah sering turun dari 10% hingga 40% [9].



Gambar 4. Skematik volume control tungku

$$\text{Laju aliran energi} = \dot{m} \times \theta \quad (1)$$

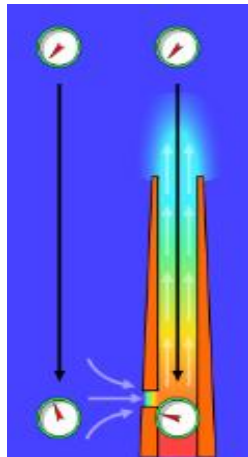
Efisiensi proses pembakaran dan perpindahan panas sangat saling tergantung dan hubungan ini harus diakui sebagai hal yang menjadi pertimbangan dalam memodifikasi bentuk tungku dan panci. Keuntungan efisiensi perpindahan panas sering menyertai kerugian efisiensi pembakaran. Pembakaran yang paling efisien ketika gas panas dan perpindahan panas yang optimal memerlukan ekstraksi maksimum panas dari gas ke air. Kepentingan-kepentingan yang saling bertentangan membuatnya menantang untuk sampai pada perbaikan desain yang memenuhi salah satu aspek tanpa mengorbankan yang lain.

$$\eta_t = \frac{Q_{Guna}}{Q_{Kayu bakar}} \quad (2)$$

$$\eta_t = \frac{(m_{air} \cdot C_{p air} \cdot \Delta T) + (m_{uap air} \cdot L)}{m_{kayu bakar} \cdot LHV_{kayu bakar}} \quad (3)$$

Persamaan (3) adalah digunakan secara umum dengan fluida kerja dalam ketel adalah air tawar. Sedangkan untuk menguapkan brine yang menghasilkan garam dan air kuloh maka massa uap air dapat dihitung seperti diperlihatkan pada persamaan (4)

$$m_{uap air} = m_{brine} - m_{garam} - m_{air kuloh} \quad (4)$$



Gambar 5. Ilustrasi tarikan alamiah yang terjadi pada cerobong

2.1 Cerobong Asap

Ketinggian cerobong asap (h_{chim}) merupakan salah satu parameter geometris utama dari tungku yang mengacu pada jarak vertikal dari sumber panas ke tempat gas panas melepaskan diri ke lingkungan.

$$\begin{aligned} \Delta P_{induced} &= g h_{chim} (\rho_{ambient} - \rho_{hot}) \\ &= g h_{chim} \rho_{ambient} \left[1 - \left(\frac{T_{ambient}}{T_{hot}} \right) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Gradien tekanan dijelaskan oleh persamaan (5) diterjemahkan ke dalam laju aliran massa ($\dot{m}$) yang mengalir melalui tungku yang tergantung pada ketinggian cerobong asap, luas potongan melintang cerobong (A), koefisien kerugian (LC), temperatur dari kedua gas pembakaran (T_{hot} atau T_o) dan temperatur lingkungan ($T_{ambient}$ atau T_i). Hubungan ini dijelaskan oleh persamaan (6). Koefisien loss (LC) dalam persamaan ini dihitung untuk kerugian yang terkait dengan gesekan dan viskositas dari cairan karena geometri tungku serta panas yang hilang pada dinding cerobong. Penelitian di EECL telah menunjukkan $LC \approx 0,5$ tanpa adanya belanga yang ditempatkan pada tungku dan $LC \approx 0,35$ dengan belanga (Agenbroad, 2010).

$$\dot{m} = LC \cdot A \left(\frac{\Delta P_{induced}}{R_s T_{hot}} \right) \quad (2.2)$$

$$\dot{m} = \dot{m}_{fuel} + \dot{m}_{air} \quad (6)$$

Persamaan (5) memperlihatkan bahwa jika semua variabel lainnya tetap konstan maka bertambahnya ketinggian cerobong akan meningkatkan induksi tekanan ke dalam tungku. Kenaikan tekanan ini juga akan meningkatkan laju aliran massa total ($\dot{m}$), seperti yang didefinisikan dalam persamaan (7). Dengan kata lain, menaikkan ketinggian cerobong akan meningkatkan laju aliran massa yang melewati tungku.

2.2 Air fuel ratio & komposisi gas buang

Air fuel rasio ditentukan berdasarkan analisis kesetimbangan reaksi proses pembakaran secara stoikiometrik.

$$Air\ Fuel\ ratio = \frac{A}{F} = \frac{Q_{udara}}{Jumlah\ bhn\ bakar} \quad (7)$$

Dimana Q_{udara} sama dengan $Q_{hisapan\ cerobong} = C A$

$$\sqrt{2gH} \frac{T_i - T_e}{T_i} \quad (8)$$

Jika pembakaran dari bahan bakar digantikan dengan jumlah udara sebenarnya yang diperoleh secara stoikiometrik maka tidak akan ada oksigen dalam gas buang dan persentase dari karbon dioksida akan maksimal [10].

Persentase karbon dioksida akan menurun sedangkan persentase dari oksigen akan meningkat jika terdapat suplay sejumlah penambahan udara berlebih. Hubungan yang penting antara komposisi gas buang dan udara berlebih (excess air) ini sangatlah perlu mendapat perhatian. Persentase volume oksigen atau karbon dioksida di dalam gas

buang akan dipengaruhi oleh level udara berlebih (excess air) dan juga oleh rasio karbon : hidrogen yang ada dalam gas buang.

4. Analisis Data Dan Pembahasan

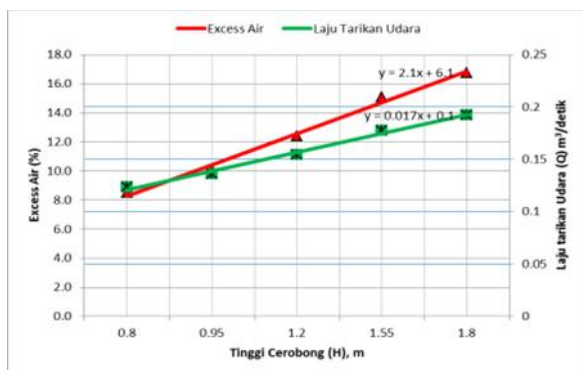
4.1 Perhitungan Air Fuel Ratio, Tinggi Cerobong Minimum dan Excess Air

Ultimate analisis telah dilakukan berdasarkan % massa serta perhitungan proses pembakaran kesetimbangan secara stoikiometri untuk 1 kg *parawood*. Berdasarkan hasil analisis diperoleh *air fuel ratio* (A/F) sebesar 2.97. Nilai *air fuel ratio* tersebut menunjukkan bahwa untuk 1 kg *parawood* memerlukan 2,97 kg udara guna dapat terjadi proses pembakaran yang sempurna secara stoikiometri. Kesetimbangan stoikiometri merupakan kondisi ideal untuk dapat terjadinya proses pembakaran sempurna yang berbeda dengan kondisi nyata proses pembakaran.

Data rata-rata hasil proses pengujian pembakaran pada tungku garam semi modern memperlihatkan bahwa jumlah kayu rata-rata yang terbakar adalah sebanyak 33,8 kg dengan waktu rata-rata 7,05 jam.

Berdasarkan *air fuel ratio* maka untuk jumlah kayu 33,8 kg akan memerlukan udara sebesar 100,5 kg. Waktu yang dihabiskan adalah 26460 detik maka laju massa udaranya menjadi 0,004 kg/detik. Diketahui bahwa desitas udara adalah sebesar 1,2 kg/m³ maka nilai laju volumetrik gas buang (Q_h) nya adalah 0,0047 m³/detik.

Berdasarkan data temperatur gas asap dan lingkungan serta nilai laju volumetrik gas buang (Q_h) maka dengan menggunakan persamaan (2.10) dapat ditentukan ketinggian cerobong untuk menghasilkan *natural draft* yang mencukupi untuk memenuhi kebutuhan udara minimal guna terjadinya proses pembakaran sempurna secara stoikiometri. Ketinggian cerobong yang diperoleh adalah sebesar 0,24 m.



Gambar 6. Grafik hubungan % excess air dan laju tarikan udara dengan variasi ketinggian cerobong pada tungku garam semi modern.

Berdasarkan data pengujian maka untuk ketinggian cerobong 0,8 m akan terdapat *excess air*

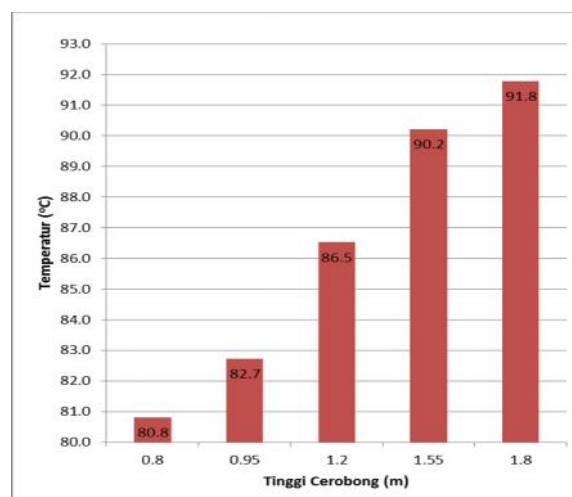
sebesar 8,5 % melebihi kebutuhan dari proses pembakaran yang secara stoikiometri, sedangkan untuk ketinggian lainnya dapat dilihat secara lengkap pada Gambar 6 yang memperlihatkan grafik hubungan antara % *excess air* dan variasi ketinggian cerobong dengan laju tarikan udara yang terjadi.

Terlihat bahwa perubahan ketinggian cerobong secara gradual juga meningkatkan laju tarikan udara dan *excess air*.

4.2 Temperatur Gas Asap dalam Cerobong

Hasil pencatatan temperatur untuk tiap lima menit sekali pada masing-masing ketinggian cerobong diperoleh data temperatur rata-rata seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7.

Terlihat bahwa temperatur rata-rata dalam cerobong semakin meningkat dengan bertambahnya ketinggian cerobong.



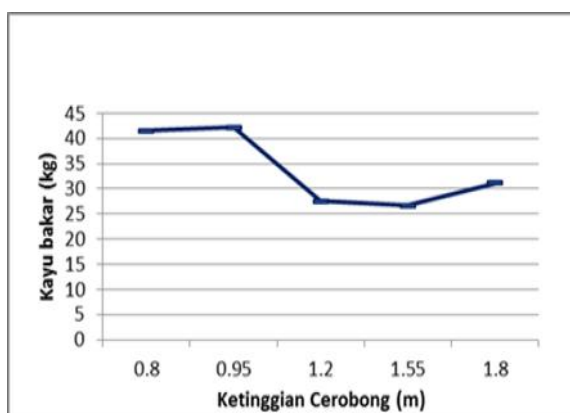
Gambar 7. Grafik temperatur rata pada cerobong tungku garam semi modern dengan masing-masing ketinggiannya

4.3 Massa Bahan Bakar dan Karbon Tak Terbakar

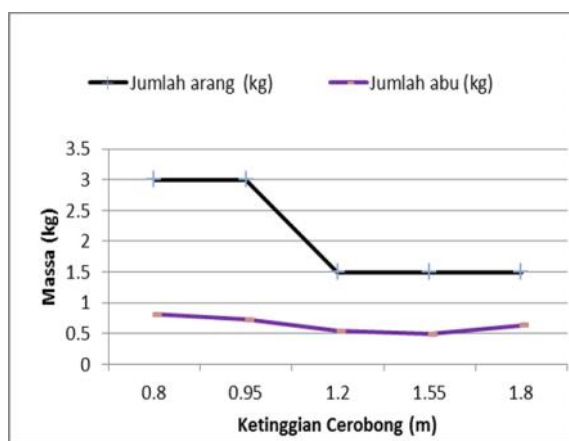
Gambar 8 (a) memperlihatkan grafik hubungan massa bahan bakar yang terbakar dengan ketinggian cerobong pada tungku garam semi modern. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa kecenderungan konsumsi bahan bakar awalnya semakin menurun dengan makin bertambahnya ketinggian cerobong. Titik balik terjadi setelah ketinggian 1,55 m konsumsi bahan bakar menjadi kembali naik untuk proses pembakaran untuk memproduksi garam pada tungku semi modern.

Gambar 8 (b) memperlihatkan grafik hubungan massa arang dan massa abu sisa pembakaran terhadap variasi ketinggian cerobong. Terlihat bahwa kecenderungan massa arang semakin menurun dengan bertambahnya ketinggian cerobong. Massa abu sisa pembakaran juga mengalami kecenderungan penurunan dengan bertambahnya ketinggian cerobong dan mencapai titik minimum pada ketinggian antara 1,2 dan 1,55 m. Setelah titik

minimum tersebut jumlah produksi abu sisa pembakaran cenderung untuk meningkat kembali.



(a)



(b)

Gambar 8. Grafik hubungan (a) jumlah bahan bakar (b) massa arang dan abu terhadap ketinggian cerobong.

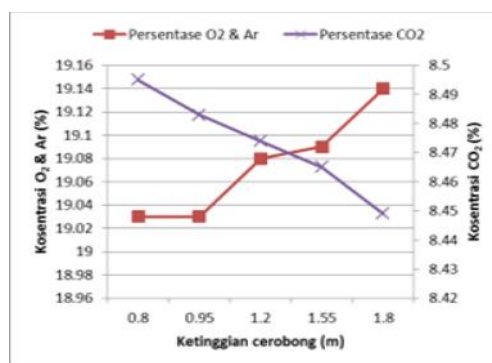
4.4 Komposisi Gas Buang

Gambar 9 memperlihatkan Grafik hubungan komposisi *flue gas* hasil pembakaran (O_2 , CO_2 dan N_2) terhadap variasi ketinggian cerobong. Gambar 4.7 (a) dan (b) memperlihatkan bahwa konsentrasi gas O_2 dan N_2 di dalam gas buang cenderung meningkat dengan bertambahnya ketinggian cerobong sedangkan komposisi gas CO_2 di dalam gas buang cenderung menurun dengan bertambahnya ketinggian cerobong.

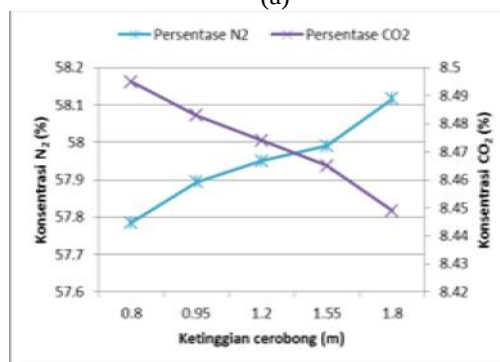
Terlihat bahwa titik perpotongan antara grafik komposisi gas buang dari O_2 dan N_2 terhadap CO_2 terjadi pada ketinggian cerobong antara 1,2 dan 1,5 m. Titik perpotongan ini sebagai salah satu indikasi nilai optimal ketinggian cerobong pada tungku garam semi modern untuk dapat terjadinya proses pembakaran yang baik.

Komposisi gas monoksida dalam gas buang yang berasal dari proses pembakaran bahan bakar biomassa memang sangat sedikit. Gambar 4.8 memperlihatkan grafik hubungan antara komposisi

gas karbon monoksida yang cenderung menurun dengan meningkatnya ketinggian cerobong.



(a)



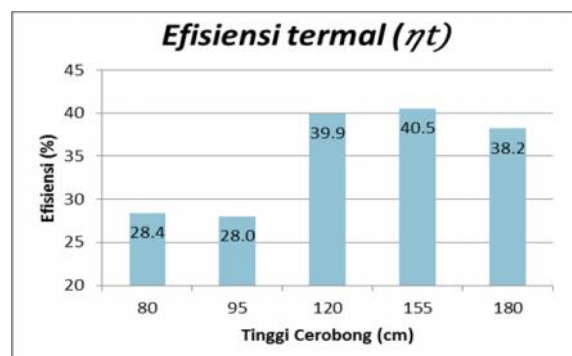
(b)

Gambar 9. Grafik hubungan komposisi *flue gas* (a) O_2 dan CO_2 (b) N_2 dan CO_2 terhadap variasi ketinggian cerobong

4.5 Efisiensi Termal Tungku

Grafik 10 memperlihatkan grafik hubungan efisiensi termal tungku terhadap variasi ketinggian cerobong.

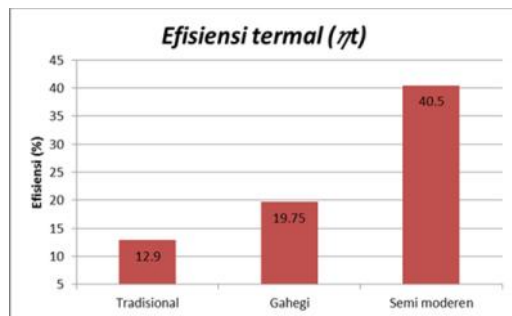
Terlihat bahwa pada awalnya efisiensi termal tungku mengalami peningkatan seiring dengan pertambahan ketinggian cerobong hingga ketinggian 1,55m sebesar 48,6 %, kemudian mengalami penurunan setelah ketinggian tersebut.



Gambar 10. Grafik hubungan efisiensi termal tungku terhadap variasi ketinggian cerobong

Berdasarkan hasil studi pustaka dapat diketahui bahwa efisiensi termal tungku semi modern adalah lebih tinggi bila dibandingkan dengan efisiensi

tungku tradisional (12,9 %) dan tungku gahegi (19,75%) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan jenis tungku garam dan efisiensinya

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Jumlah kayu yang terbakar semakin menurun dengan bertambahnya kenaikan cerobong hingga ketinggian 1,55 m dan kembali terjadi kenaikan setelah ketinggian tersebut.
2. Semakin tinggi cerobong maka laju tarikan udara dan excess air juga semakin besar
3. Jumlah arang pada tungku semi modern semakin menurun dengan bertambahnya ketinggian cerobong hingga ketinggian 1,55 m dan kembali mengalami kenaikan setelah ketinggian tersebut.
4. Persentase CO₂ dan CO semakin menurun dengan bertambahnya ketinggian cerobong sedangkan persentase O₂ & Ar serta N₂ semakin meningkat.
5. Efisiensi termal tungku garam semi moderen semakin meningkat dengan ketinggian cerobong hingga 1,55 m dan kembali mengalami penurunan setelah ketinggian tersebut.
6. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa ketinggian cerobong paling optimal adalah berada pada posisi 1,55 m.

Daftar Pustaka

- [1] Anonym, 2006, "Bahan Bakar & Pembakaran", Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia – www. Energyefficiencyasia.Org, UNEP.
- [2] Kim Ki-Hyun, Shamin Ara Jahan, Ehsanul Kabir, 2011, "A Review Of Diseases Associated With Household Air Pollution Due To The Use Of Biomass Fuels", *Journal of Hazardous Materials*, volume 192, issue 2, 30 August 2011, Pages 425–431.
- [3] Rahayu E., S., 2011 "Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah" Berita Negara RI Nomor 1077/Menkes/Per/V/2011.
- [4] Smith, Kirk, R., and Ajay Pillarisetti, (2012) *A Short History of Woodsmoke and Implications for Chile* University of California, Berkeley, Estudios Públicos, 126 (otoño): 163-179.

- [5] Vaccari, M., Francesco Vitali, Angelo Mazzù, 2012, "Improved cookstove as an appropriate technology for the Logone Valley (Chad – Cameroon): Analysis of fuel and cost saving ", *Renewable Energy* Volume 47, November 2012, Pages 45–54.
- [6] Joseph D., Z., 2010, "Heat Transfer Efficiency Of Biomass Cookstoves", *Thesis Department Of Mechanical Engineering Colorado State University Fort Collins, Colorado*.
- [7] Setiawan, A., dkk., 2010 "Optimasi Proses Pembakaran dan Perpindahan Panas Pada Alat Produksi Garam Hemat Energi ", *A Proceeding on The 5th Regional Seminar on MAESTRUCK*, USU, Medan.
- [8] Daniel Joseph Zube, 2010, "Heat Transfer Efficiency Of Biomass Cookstoves" *Thesis, Department of Mechanical Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado*
- [9] Bryden, Mark., 2010, "Design Principles for Wood Burning Cookstoves". *Aprovecho Research Center - Advanced Studies in Appropriate Technology*
- [10] Hanbi, V., I., 1994, "Combustion Engineering", Mc Graw Hill, London