

KAJI EFISIENSI PEMANFAATAN ENERGI BAHAN BAKAR UNTUK KASUS PEREBUSAN AIR

Teuku Zulfadli¹, Muhammad Yusuf²,

Department of Mechanical Engineering, Iskandarmuda University

Jln. Kampus Unida No.15 Surien – Banda Aceh 23234, INDONESIA

Phone/Fax.: (0651) 44413, e-mail : teukuzulfadli@unida-aceh.ac.id, yusjal.banda@yahoo.co.id

Abstrak

Bahan bakar merupakan unsur utama dalam proses pembakaran, tanpa bahan bakar kita tidak dapat melakukan proses pembakaran, misalnya pada proses perebusan air. Masyarakat sekarang ini, menggunakan tungku pembakaran yang terbuka, hal tersebut akan membuat banyak energi panas terbuang sehingga dapat mengeluarkan biaya yang besar bagi masyarakat. Semakin banyak air yang direbus maka semakin lama waktu yang dibutuhkan dan semakin banyak pula bahan bakar yang digunakan dalam proses perebusan.. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari sistem pembakaran untuk pemanasan air yang optimal. Manfaat dari penelitian ini agar dapat diaplikasikan untuk masyarakat sebagai solusi penerapan teknologi tepat guna dan supaya sistem pembakaran yang optimal serta efisiensi tinggi akan mendapatkan keuntungan lebih tinggi bagi masyarakat. Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan drum bekas dengan 3 (A, B, C) lubang ruang bakar dan 3 variasi pintu (A1, A2, A3), (B1, B2, B3) dan (C1, C2, C3) disetiap lubang ruang bakar tersebut. Bahan bakar yang digunakan ada 2 jenis yaitu menggunakan bahan bakar gas dan kayu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada proses perebusan dengan menggunakan bahan bakar gas, semakin tertutup lubang ruang bakar maka semakin cepat proses mendidihnya atau mencapai temperatur jenuh. Sedangkan dengan menggunakan bahan bakar kayu berbanding terbalik dengan menggunakan bahan bakar gas, semakin tertutup lubang ruang bakar maka semakin lama mencapai temperatur jenuh.

Kata kunci: Efisiensi, Sumber Energi, Bahan Bakar.

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar merupakan suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi. Sebagai mana kita ketahui bahwa, hasil dari proses pembakaran adalah berupa energi panas. Dalam kehidupan sehari-hari kita tidak terlepas dari kebutuhan akan bahan bakar, biasanya bahan bakar menghasilkan energi panas yang dapat dilepaskan akibat dari proses pembakaran. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia untuk proses pembakaran yaitu memasak air dan lain sebagainya.

Pada umumnya masyarakat saat ini menggunakan tungku pembakaran yang terbuka untuk memanaskan air. Hal ini kurang efisien karena akan mengakibatkan banyak kehilangan energi panas akibatnya akan banyak mengeluarkan biaya. Semakin banyak air yang direbus maka semakin lama waktu yang dibutuhkan dan semakin banyak pula bahan bakar yang dibutuhkan dalam proses perebusan. Oleh karena itu, kebutuhan udara sangat dibutuhkan dalam proses pembakaran agar pembakaran menjadi optimal. Tetapi apabila terlalu banyak udara berlebih juga akan mengakibatkan kehilangan temperatur pembakaran.

Dilihat dari masalah diatas, maka penulis akan melakukan pengkajian efisiensi pemanfaatan energi bahan bakar dengan cara memodifikasi tungku pembakaran untuk kasus perebusan air hingga temperatur jenuh agar proses pembakaran yang terjadi

menjadi optimal sehingga dapat membantu masyarakat dengan menggunakan alat teknologi tepat guna tersebut dan hemat bahan bakar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar Terjadinya Api

Api merupakan suatu reaksi kimia yang berupa oksidasi yang bersifat eksotermis kemudian diikuti oleh pengeluaran cahaya, panas serta dapat menghasilkan nyala api, asap dan bara. Proses terjadinya api dimulai bila terdapat tiga unsur yaitu bahan/benda mudah terbakar, oksigen dan sumber panas. Apabila ketiga unsur tersebut berada dalam kondisi yang seimbang/konsentrasi tertentu, timbullah reaksi oksidasi atau dikenal sebagai proses pembakaran.

2.2 Tiga Unsur Api

1. Bahan bakar

Bahan bakar adalah semua benda yang dapat mendukung terjadinya pembakaran. Ada tiga wujud bahan bakar, yaitu padat, cair dan gas. Untuk benda padat dan cair dibutuhkan panas pendahuluan untuk mengubah seluruh atau sebagian darinya, ke bentuk gas agar dapat mendukung terjadinya pembakaran. Dibawah ini adalah data nilai dari kalori dari bahan bakar:

Tabel 2.1 Nilai kalori dari bahan bakar

(Sumber: Chemistry, The Molecular Nature of Matter and Change, Martin S. Silberberg, 2000).

a. Benda padat

Bahan bakar padat merupakan bahan bakar berbentuk padat, dan kebanyakan menjadi sumber energi panas. Misalnya kayu dan batubara. Energi panas yang dihasilkan bisa digunakan untuk memanaskan air menjadi uap untuk menggerakkan peralatan dan menyediakan energi. Bahan bakar padat yang terbakar akan meninggalkan sisa berupa abu atau arang setelah selesai terbakar. Contohnya: kayu, batu bara, plastik, gula, lemak, kertas, kulit dan lain-lainnya.

b. Benda cair

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat molekulnya dapat bergerak bebas. Bahan bakar cair contohnya: bensin, cat, minyak tanah, alkohol, dan lainnya.

c. Benda gas

Bahan bakar gas ada dua jenis, yakni Compressed Natural Gas (CNG) dan Liquid Petroleum Gas (LPG). CNG pada dasarnya terdiri dari metana sedangkan LPG adalah campuran dari propana, butana dan bahan kimia lainnya. LPG yang digunakan untuk kompor rumah tangga, sama bahannya dengan Bahan Bakar Gas yang biasa digunakan untuk sebagian kendaraan bermotor. Bahan bakar gas contohnya: gas alam, asetilen, karbon monoksida, metana, dan lain-lainnya.

2. Udara

Sumber oksigen adalah dari udara, dimana dibutuhkan paling sedikit sekitar 15% volume oksigen dalam udara agar terjadi pembakaran. Udara normal di dalam atmosfer kita mengandung 21% volume oksigen. Bahan bakar padat atau cair harus diubah ke bentuk gas sebelum dibakar. Biasanya diperlukan panas untuk mengubah cairan atau padatan menjadi gas. Bahan bakar gas akan terbakar pada keadaan normal jika terdapat udara yang cukup [2].

3. Panas

Panas adalah suatu bentuk energi yang dibutuhkan untuk meningkatkan temperatur suatu benda/bahan bakar sampai ke titik dimana jumlah uap bahan bakar tersebut tersedia dalam jumlah cukup untuk dapat terjadi penyalaan. Sumber panas antara lain:

- Arus Panas arus dapat akibat	Jenis bahan Bakar	Komposisi (%)			Nilai Kalor (kJ g ⁻¹)	listrik : akibat listrik terjadi adanya
		C	H	O		
	Gas Alam	70	23	0	49	
	Batu Bara	82	1	2	31	
	LPG	82	18	0	53	
	Arang	100	0	0	34	
	Kayu	50	6	44	18	

hambatan terhadap aliran arus, kelebihan beban muatan, hubungan pendek, dan lain-lain.

- Kerja mekanik : Panas yang dihasilkan oleh kerja mekanik biasanya dari gesekan dua benda atau gas yang diberi tekanan tinggi.
- Reaksi kimia : Pada reaksi kimia, hubungan dengan panas, terdapat dua macam reaksi yaitu reaksi endotermis dan eksotermis. Reaksi endotermis adalah reaksi yang membutuhkan panas untuk dapat berjalan, sedang reaksi eksotermis adalah kebalikannya yaitu menghasilkan panas dan reaksi inilah yang merupakan sumber panas. Reaksi kimia disini tidak hanya terbatas pada reaksi perubahan atau pembentukan senyawa baru, akan tetapi dapat juga dalam bentuk proses pencampuran dan atau pelarutan.
- Reaksi nuklir : Reaksi nuklir yang menghasilkan panas dapat berupa fusi atau fisi.

Radiasi matahari : Sinar matahari dapat menjadi sumber panas yang dapat menyebabkan kebakaran apabila intensitasnya cukup besar, atau difokuskan oleh suatu alat optik.

2.3 Nyala Api

Api pada umumnya selalu identik dengan nyala api, ini adalah salah satu dari bentuk api. Nyala api sesungguhnya adalah gas hasil reaksi dengan panas dan cahaya yang ditimbulkannya. Warna dari nyala api ditentukan oleh bahan-bahan yang bereaksi (terbakar). Warna yang dihasilkan oleh gas hidrokarbon, yang bereaksi sempurna dengan udara (oksigen) adalah biru terang. Nyala api akan lebih mudah terlihat ketika karbon dan padatan lainnya atau liquid produk antara dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna naik dan berpijar akibat temperatur dengan warna merah, jingga, kuning, atau putih, tergantung dari temperaturnya.

Titik nyala merupakan suhu terendah dimana suatu zat / bahan cukup mengeluarkan uap dan menyala, bila ditemui sumber panas yang cukup. Suhu penyalaan sendiri merupakan suhu temperatur dimana suatu zat dapat menyala dengan sendirinya tanpa adanya sumber panas dari luar. Pengembangan api merupakan suatu penyalaan serentak dalam ruangan ketika uap bahan bakar mencapai titik penyalaannya dimana oksigen mencukupi dan temperatur/panas tinggi. Penyalaan hebat setelah api mengecil merupakan suatu ledakan yang terjadi ketika

oksigen tiba-tiba masuk pada api yang sudah mengecil dalam ruangan tertutup yang sangat panas.

2.4 Proses Pembakaran

Pembakaran adalah suatu reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dan oksigen yang menghasilkan sejumlah gas-gas dan melepaskan sejumlah energi dalam bentuk panas (ini merupakan reaksi eksotermik). Karakteristik yang paling jelas dari suatu proses pembakaran adalah daerah reaksi yang biasanya tampak sebagai nyala api; radiasi yang dipancarkan dari nyala api, sebagai contoh karakteristik warna kuning dari suatu pembakaran kayu atau warna ungu dari proses pembakaran bahan bakar gas. Kedua kasus tersebut dapat kita lihat pada saat ibu rumah tangga memasak air dengan panci.

Secara umum suatu proses pembakaran biasanya dapat dikelompokkan kedalam beberapa tahap yaitu:

1. Sebelum pembakaran terjadi misalnya penyediaan bahan bakar dan pencampuran bahan bakar dengan udara (reaktan) dalam suatu jumlah yang sesuai.
2. Selama pembakaran misalnya menyalakan reaktan, memastikan bahwa pengapian secara keadaan stabil dan pengambilan panas yang bermanfaat dari hasil pembakaran secara optimal.
3. Setelah pembakaran terjadi misalnya mengelola hasil pembakaran yaitu abu dan gas asap secara aman [3].

2.5 Kebutuhan Udara Pembakaran

Excess air digunakan untuk mengontrol pembakaran menjadi lebih sempurna. Ciri pembakaran yang tidak sempurna adalah terbentuknya gas karbon monoksida (CO) di akhir proses pembakaran. Proses pembakaran yang tidak sempurna secara teori kimia merugikan proses pemutusan ikatan hidrokarbon, sehingga energi panas yang dihasilkan tidak maksimal. Energi panas dari proses pembakaran suatu ikatan hidrokarbon akan maksimal dihasilkan jika pembakarannya sempurna, yang ditandai dengan keseluruhan dari atom karbon (C) dari ikatan hidrokarbon membentuk senyawa karbon dioksida (CO₂) di akhir proses pembakaran. Pembakaran sempurna terjadi apabila pada saat terjadinya proses oksidasi ini terdapat oksigen yang cukup dan pada bahan bakar terdapat bilangan oktan yang tinggi.

Hasil dari pembakaran sempurna ini, asap yang ditimbulkan tidak cukup banyak bila dibandingkan dengan hasil dari pembakaran tidak sempurna. Setiap senyawa hidrokarbon yang dibakar sempurna (terdapat cukup oksigen) akan menghasilkan karbondioksida dan air. Pembakaran tidak sempurna menghasilkan gas yang beracun, pembakaran ini bisa menyebabkan pembentukan karbon atau karbon monoksida. Hal ini dapat terjadi apabila tidak terdapatnya oksigen yang cukup selama berlangsungnya proses oksidasi. Penjelasan sederhana untuk reaksi pembakaran ini adalah, hidrogen dalam hidrokarbon mendapatkan kesempatan pertama untuk bereaksi dengan oksigen, dan karbon hanya mendapatkan oksigen yang tersisa. Keberadaan partikel-partikel karbon yang berpijar pada sebuah nyala menyebabkan nyala tersebut berubah menjadi warna kuning, dan karbon hitam sering terlihat dalam asap. Karbon monoksida dihasilkan sebagai sebuah gas beracun yang tidak berwarna [4].

2.6 Teori Perpindahan Panas

Panas telah kita ketahui dapat berpindah dari tempat dengan temperatur lebih tinggi ketempat dengan temperatur lebih rendah. Hukum percampuran panas juga terjadi karena panas itu berpindah, sedangkan pada kalorimeter, perpindahan panas dapat terjadi dalam bentuk pertukaran panas dengan luar sistem. Jadi pemberian atau pengurangan panas tidak saja mengubah temperature atau fasa zat suatu benda secara lokal, melainkan panas itu merambat ke atau dari bagian lain benda atau tempat lain. Peristiwa itu disebut perpindahan panas.

Perpindahan panas pada umumnya terjadi dengan tiga cara yang berbeda yaitu: perpindahan panas secara konduksi, perpindahan panas secara konveksi dan perpindahan panas secara radiasi.

2.6.1. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas yang mengalir dari suatu titik bertemperatur lebih tinggi ke titik bertemperatur lebih rendah dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium berlainan yang bersinggungan secara langsung. Perpindahan panas secara konduksi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [5]:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana: k = konduktivitas termal (W/mK)

A = luas permukaan laluan (m²)

$\frac{dT}{dx}$ = gradient temperature (K/m)

2.6.2. Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan energi panas antara permukaan dengan fluida (cair atau gas) yang mengalir diatas permukaan laluan karena perbedaan temperatur. Laju perpindahan panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan dan fluida dihitung dengan persamaan [5]:

$$q_c = h_c A \Delta T \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana: h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m²K)

A = luas permukaan laluan (m²)

ΔT = perubahan temperature (K)

2.6.3. Radiasi

Radiasi perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektro-magnetik, tanpa memerlukan media perantara. Bila energi radiasi menimpa permukaan atau suatu bahan, maka sebagian dari radiasi itu akan dipantulkan (refleksi),

sebahagian diserap (absorpsi, dan sebahagian lagi diteruskan (transmisi). Fraksi yang dipantulkan dinamakan reflektivitas (ρ), fraksi yang diserap adalah absorptivitas (α) dan fraksi yang diteruskan adalah transmisivitas (τ) [6].

Untuk menghitung besarnya perpindahan panas secara radiasi diberikan oleh persamaan [7]:

$$q = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana : ε = emisivitas permukaan

A = luas permukaan (m^2)

σ = konstanta Boltzman

T_s = temperatur permukaan (K)

T_{sur} = temperatur lingkungan (K)

$$\rho (5,675 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

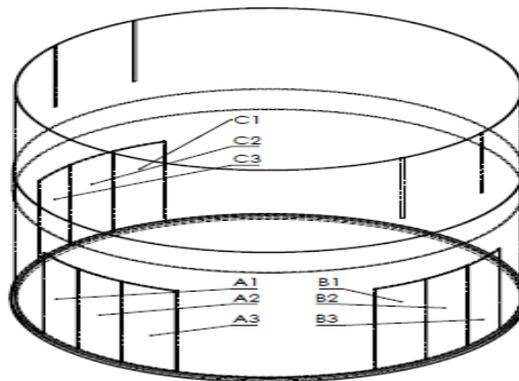
3. METODOLOGI

3.1 Skematik Alat

Peralatan pengujian yang digunakan pada penelitian ini menggunakan drum oli bekas yang dipotong menjadi 2 bagian: yaitu untuk ruang pembakaran dan tempat perebusan air.



Gambar 3.1 Proses perebusan air



Gambar 3.2 Tungku Pembakaran

3.2 Peralatan Ukur

- Termometer digital
- Pengukur waktu (jam tangan)
- Timbangan
- Gelas ukur

3.3 Prosedur Pengujian

Dalam proses penelitian ini dilakukan 8 kali pengujian, 4 kali dengan menggunakan gas elpiji dan 4 lagi menggunakan kayu bakar. Pada proses pembakaran menggunakan elpiji memiliki 3 lubang pembakaran yaitu lubang A, B, dan C, begitu juga pada pembakaran dengan menggunakan kayu bakar. Kemudian pada setiap lubang pembakaran memiliki 3 variasi pintu (A1, A2, dan A3), (B1, B2 dan B3), serta (C1, C2, dan C3).

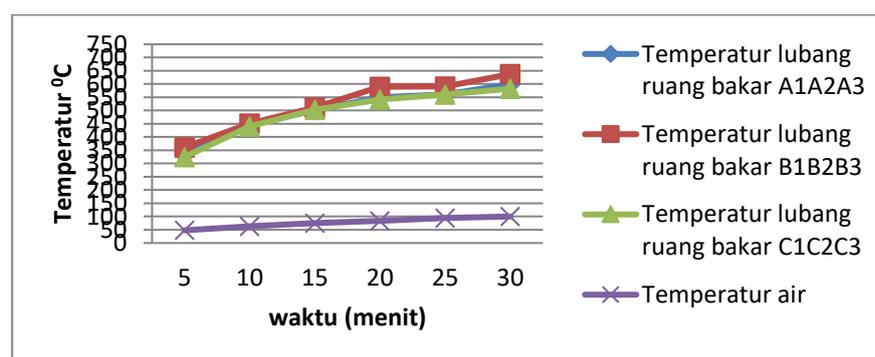
Adapun proses pengambilan data pada penelitian ini dengan menggunakan bahan bakar gas elpiji dan kayu bakar adalah sama.

Pengujian dilakukan dengan variasi dibawah ini:

- Semua lubang ruang bakar dibuka.
- 2 pintu lubang ruang bakar terbuka ($T_{LRB A1, A2}$, $T_{LRB B1, B2}$ dan $T_{LRB C1, C2}$), 1 pintu tertutup ($T_{LRB A3}$, $T_{LRB B3}$ dan $T_{LRB C3}$).
- 1 pintu lubang ruang bakar terbuka ($T_{LRB A3}$, $T_{LRB B3}$ dan $T_{LRB C3}$), 2 pintu tertutup ($T_{LRB A1, A2}$, $T_{LRB B1, B2}$ dan $T_{LRB C1, C2}$).
- Semua lubang ruang bakar tertutup.
- Memasang thermometer digital pada air yang dipanaskan.
- Memasang thermometer digital pada lubang ruang bakar A ($T_{LRB A1A2A3}$), lubang ruang bakar B ($T_{LRB B1B2B3}$), dan lubang ruang bakar C ($T_{LRB C1C2C3}$).
- Memanaskan drum yang berisi air dengan bahan bakar gas elpiji dan kayu yang telah disiapkan hingga temperatur yang telah direncanakan yaitu 100°C serta mencatat berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air dari masing-masing variasi lubang pembakaran. Proses perebusan tidak dilakukan secara bersamaan tetapi tahap pertama menggunakan gas elpiji dan kemudian baru menggunakan kayu.
- Mencatat berapa banyak bahan bakar yang habis digunakan untuk mendidihkan air tersebut.
- Pengambilan data pada thermometer digital dilakukan setiap 5 menit sekali sampai air mendidih.

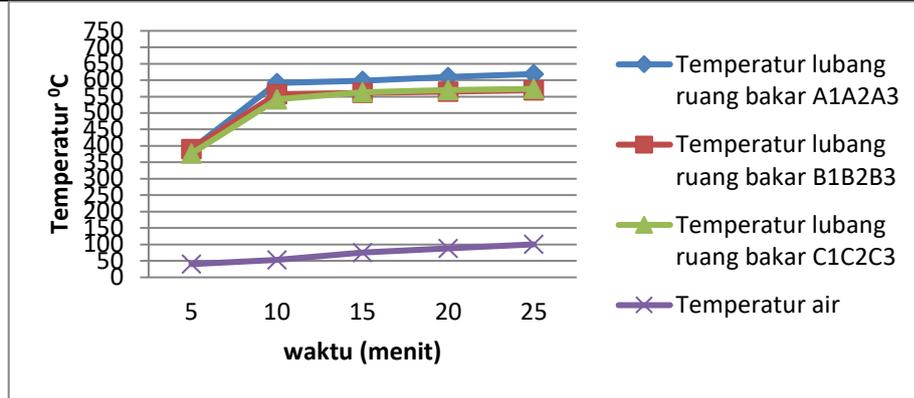
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini diperoleh data-data penelitian sebagai berikut.



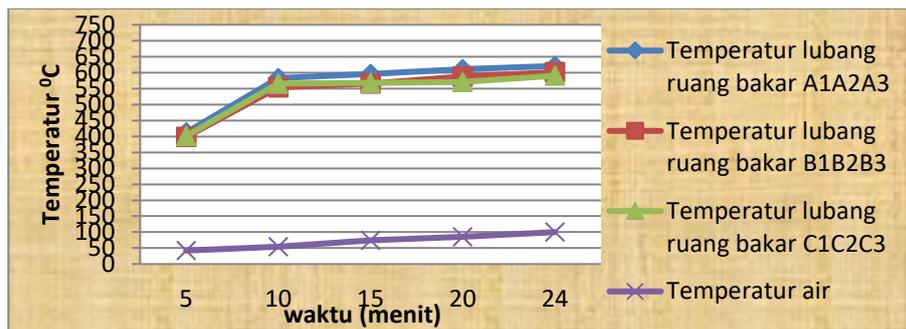
Gambar 4.1. Ruang bakar dengan kondisi lubang terbuka semua menggunakan bahan bakar gas elpiji.

Gambar 4.1. Di atas menjelaskan tentang besar temperatur yang ada didalam ruang bakar dengan semua lubang terbuka, bahan bakar gas yang habis digunakan untuk mencapai temperatur jenuh adalah 0,5 kg gas dengan waktu 30 menit.



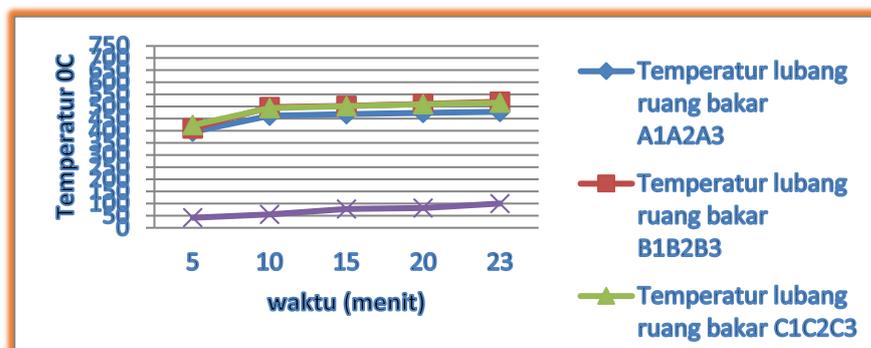
Gambar 4.2. Ruang bakar dengan kondisi 2 pintu lubang ruang bakar terbuka dan 1 tertutup menggunakan bahan bakar gas elpiji.

Gambar 4.2. Di atas menjelaskan tentang besar temperatur yang ada didalam ruang bakar dengan kondisi 2 pintu lubang ruang bakar terbuka (lubang A1, B1, C1 dan A2, B2, C2) dan 1 tertutup (A3, B3, C3), bahan bakar gas yang habis digunakan untuk mencapai temperatur jenuh adalah 0,5 kg gas dengan waktu 25 menit.



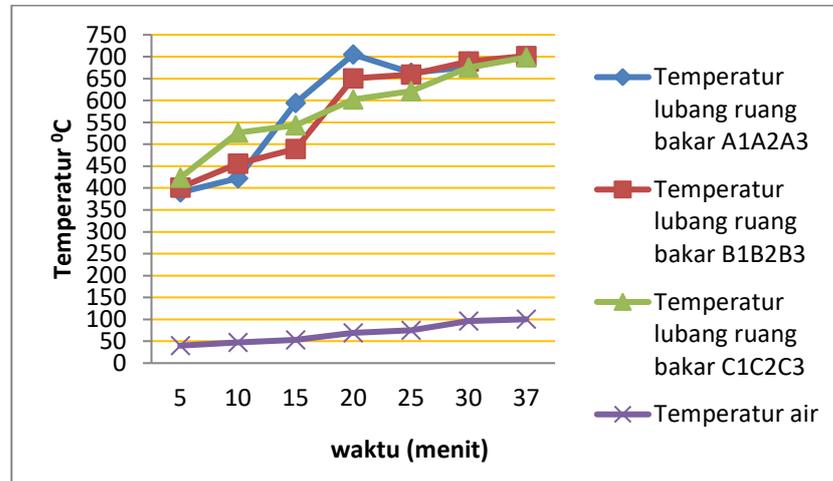
Gambar 4.3. Ruang bakar dengan kondisi 1 pintu lubang ruang bakar terbuka dan 2 tertutup menggunakan bahan bakar gas elpiji.

Gambar 4.3. Di atas menjelaskan tentang besar temperatur yang ada didalam ruang bakar dengan dengan kondisi 1 pintu lubang ruang bakar terbuka (A3, B3, C3) dan 2 tertutup (A1A2, B1B2 C1C2) bahan bakar gas yang habis digunakan untuk mencapai temperatur jenuh adalah 0,5 kg gas dengan waktu 24 menit.



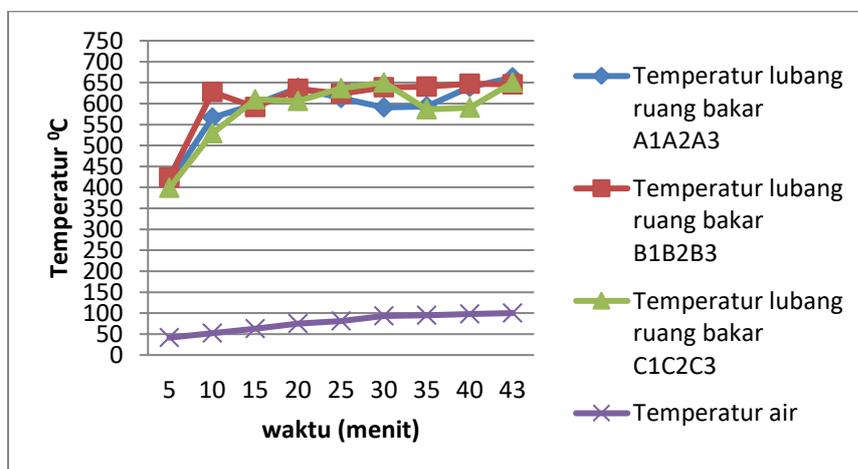
Gambar 4.4. Ruang bakar dengan kondisi lubang tertutup semua menggunakan bahan bakar gas elpiji.

Gambar 4.4. Di atas menjelaskan tentang besar temperatur yang ada didalam ruang bakar dengan semua lubang tertutup, bahan bakar gas yang habis digunakan untuk mencapai temperatur jenuh adalah 0,5 kg gas dengan waktu 23 menit.



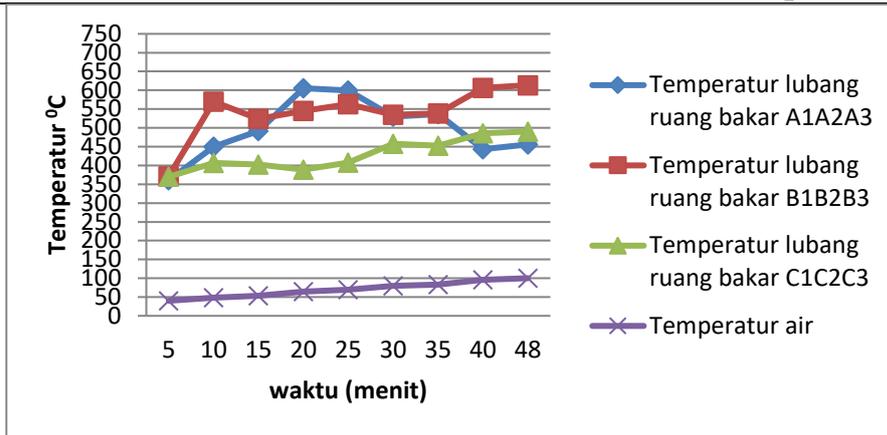
Gambar 4.5. Ruang bakar dengan kondisi lubang terbuka semua menggunakan bahan bakar kayu.

Gambar 4.5. Di atas menjelaskan tentang besar temperatur yang ada didalam ruang bakar dengan semua lubang terbuka, bahan bakar kayu yang habis digunakan untuk mencapai temperatur jenuh adalah 8,8 kg kayu dengan waktu 37 menit.



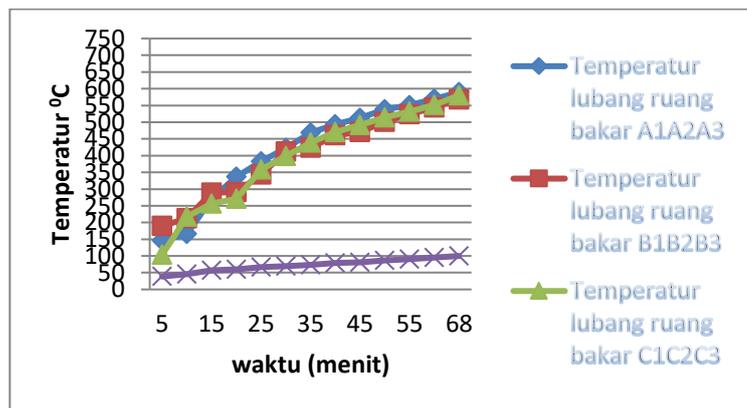
Gambar 4.6. Ruang bakar dengan kondisi 2 pintu lubang ruang bakar terbuka dan 1 tertutup menggunakan bahan bakar kayu.

Gambar 4.6. Di atas menjelaskan tentang besar temperatur yang ada didalam ruang bakar dengan kondisi 2 pintu lubang ruang bakar terbuka (lubang A1, B1, C1 dan A2, B2, C2) dan 1 tertutup (A3, B3, C3), bahan bakar kayu yang habis digunakan untuk mencapai temperatur jenuh adalah 12 kg kayu dengan waktu 43 menit.



Gambar 4.7. Ruang bakar dengan kondisi 1 pintu lubang ruang bakar terbuka dan 2 tertutup menggunakan bahan bakar kayu.

Gambar 4.7. Di atas menjelaskan tentang besar temperatur yang ada didalam ruang bakar dengan dengan kondisi 1 pintu lubang ruang bakar terbuka (A3, B3, C3) dan 2 tertutup (A1A2, B1B2 C1C2), bahan bakar kayu yang habis digunakan untuk mencapai temperatur jenuh adalah 12,5 kg kayu dengan waktu 48 menit.



Gambar 4.8. Ruang bakar dengan kondisi lubang tertutup semua menggunakan bahan bakar kayu.

Gambar 4.8. Di atas menjelaskan tentang besar temperatur yang ada didalam ruang bakar dengan semua lubang tertutup, bahan bakar kayu yang habis digunakan untuk mencapai temperatur jenuh adalah 15,4 kg kayu dengan waktu 1 jam 8 menit.

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian dan pembahasan data hasil pengujian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

Pada proses perebusan dengan menggunakan bahan bakar gas, semakin tertutup lubang ruang bakar maka semakin cepat proses mendidihnya atau mencapai temperatur jenuh. Sedangkan dengan menggunakan bahan bakar kayu berbanding terbalik dengan menggunakan bahan bakar gas, semakin tertutup lubang ruang bakar maka semakin lama mencapai temperatur jenuh.

6. SARAN

Penelitian ini menggunakan drum bekas yang digunakan sebagai ruang bakar dan tempat perebusan, juga masih dalam ruang lingkup kecil yang hanya mendidihkan air dengan massa 40 liter. Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut, baik dari peralatan maupun dari metode yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Martin S, Silberberg, 2000, Chemistry, The Molecular Nature of Matter and Change.
2. Department of Coal, 1985, *Coal Combustion – Improved techniques for efficiency*, Government of India.
3. Khairil, 2013, *Buku Ajar Teknik Pembakaran*, Syiah Kuala Press, Banda Aceh.
4. Sugianto, Bambang, 2009, http://www.chemistry.org/materi_kimia_fisika1/termokimia/pembakaran-sempurna-dan-tidak-sempurna., T. L, [DeWitt, D. P.](#), [Incropera, F. P.](#), 2007 *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Edisi ke-6, John Wiley and Sons, USA.
5. J.P Holman, *Perpindahan kalor* edisi ke enam, alih bahasa, Ir. E. Jasfi M.Sc. Lemigas Erlangga, 1997, Jakarta.
6. BMKG, 2012, *Buku Informasi Perubahan Iklim dan Kualitas Udara di Indonesia*, Jakarta.
7. Wardana, I.N.G, 2008, *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*, pp 1, Malang, Indonesia.