

KAJIAN EKSPERIMENTAL DAN SIMULASI CFD PEMBAKARAN BRIKET BATUBARA NON KARBONISASI SECARA NATURAL DRAFT DAN PENGAYAAN OKSIGEN UDARA PEMBAKARAN

Pratiwi, D.K.¹, Nugroho, Y.S.², Koestoer, R.A.³, Soemardi, T.P.⁴

¹Post Graduate Student, Mech. Eng. Dept. Engineering Faculty, Indonesia University,
Lecturer of Engineering Faculty, Sriwijaya University
E-mail : pratiwi.diahkusuma@yahoo.com

^{1,2,3} Lecturer of Post Graduate Program, Mech. Eng. Depart.,
Engineering Faculty, Indonesia University

ABSTRAK

Indonesia adalah Negara yang kaya akan batubara, namun batubara yang dijual secara domestik adalah batubara peringkat rendah dalam bentuk briket batubara non karbonisasi. Briket ini mengandung banyak abu, uap air yang tinggi, dan mengeluarkan asap yang hitam. Oleh karena itu briket ini kurang diminati untuk bahan bakar rumah tangga dan lebih cocok untuk industri manufaktur. Namun terlebih dahulu perlu kajian terhadap temperatur nyala bara briket sebagai sumber energi panas pada industri manufaktur.

Pada penelitian ini dilakukan kajian eksperimental dan simulasi CFD terhadap pembakaran briket batubara non karbonisasi secara natural draft dan pengayaan oksigen udara pembakaran. Data hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur nyala bara briket secara natural draft adalah 977 °C dan dengan pengayaan oksigen 1500 °C, sedangkan secara eksperimental 970 °C, 1350 °C.

Keywords : briket batubara non karbonisasi, simulasi CFD, pembakaran natural draft, pengayaan oksigen udara pembakaran, temperatur bara briket

1. Pendahuluan

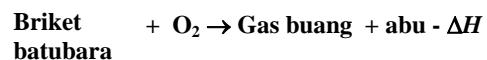
Batubara yang dijual di pasar domestik adalah batubara peringkat rendah. Batubara ini kebanyakan dijual dalam bentuk briket batubara non karbonisasi. Pada mulanya briket ini dirancang sebagai bahan bakar untuk skala rumah tangga dan untuk menggantikan minyak tanah dan gas. Namun karena pada umumnya ibu-ibu rumah tangga lebih suka memakai gas yang lebih mudah untuk dioperasikan, maka timbul ide untuk menggunakan briket ini sebagai bahan bakar untuk industri manufaktur, yaitu : pandai besi dan pengecoran logam. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari hubungan antara temperatur maksimum yang dapat dicapai oleh bara briket batubara yang dibakar secara natural draft dan konsumsi oksigen atau jumlah oksigen yang terlibat dalam reaksi pembakaran briket tersebut. Kajian yang dilakukan adalah dengan melakukan studi eksperimental yang dibandingkan dengan hasil simulasi untuk briket yang mempunyai nilai kalor sebesar 5223 kcal/kg.

2. Landasan teori

2.1 Acuan untuk kajian eksperimental

Pada hakekatnya, kalor yang masuk kedalam ruang bakar adalah kalor yang ditambahkan kedalam bara

briket sebagai akibat reaksi kimia antara briket dengan oksigen. Menurut [2], akibatnya terjadi pembakaran dimana temperatur pada bara briket batubara akan naik selama interval waktu dt,



Ruang bakar untuk briket batubara mempunyai volume yang tetap dan dapat dianggap volume yang dikontrol atau *control volume*. Menurut [3] jumlah massa atau energi yang masuk kedalam *control volume* akan mempengaruhi kenaikan jumlah massa atau energi didalamnya adalah sama dengan laju perubahan massa atau energi terhadap waktu. Sedangkan panas yang mengalir merupakan laju perpindahan panas yang menembus *control surface*.

Menurut [4] persamaan energy hasil pembakaran dalam *natural draft* dalam *control volume* adalah sbb :

$$Q = \dot{m}_h C_{ph} T_b - \dot{m}_c C_{pc} T_c + d/dt \left(\sum_i M_i C_{vi} T_i \right)$$

Karena permukaan ruang bakar dalam kondisi terbuka dan langsung kontak dengan udara luar maka sebagai akibat perpindahan panas radiasi dan konveksi yang



terjadi, maka udara didalam ruang bakar lebih panas daripada udara luar.

$$\dot{m}_c = \frac{2}{3} \rho_c z \sqrt{2gz(T_h - T_c)/T_h}$$

$$\dot{m}_h = \frac{2}{3} \rho_h (h - z) \sqrt{2g(h - z)(T_h - T_c)/T_c}$$

Atau :
$$\dot{m}_h = \dot{m}_c + \left(\frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_a} \right)$$

Dimana : \dot{m}_a = udara stiohiometric, atau massa udara persatuan berat bahan bakar

Maka tinggi bidang netral bukaan udara masuk adalah :

$$z = \frac{h}{\left\{ 1 + f^2 \left(\frac{T_{h1}}{T_c} \right) \right\}^{1/3}}$$

Dimana : $f = 1 + \frac{1}{m_a}$

dan $T_{h1} = \frac{T_h + T_c}{2}$

Menurut [5] hubungan antara kecepatan dan temperature nyala adalah :

$$V_i = n \left(\frac{m_i}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp \left(- \frac{m_i v_i^2}{2kT} \right)$$

Menurut [6], Laju konsumsi udara adalah : $\frac{q\Delta O_2}{AL}$

Laju konsumsi udara dan laju reaksi pembakaran :

$$\frac{q\Delta O_2}{AL} = A_r P_{O_2}^m C_f^n \exp \left(- \frac{E}{RT} \right)$$

Laju konsumsi udara dan laju pengurangan bahan bakar

$$: \frac{q\Delta O_2}{AL} = -\alpha \frac{dC_f}{dt}$$

α = factor proporsionalitas = jumlah udara yang bereaksi dengan 1 g bahan bakar. Maka persamaan diatas menjadi

$$: \frac{q\Delta O_2}{AL} = A_r P_{O_2}^m C_f^n \exp \left(- \frac{E}{RT} \right) = -\alpha \frac{dC_f}{dt}$$

Pada $t = t_1 \rightarrow \infty$ adalah :

$$\alpha C_f(t) = \int_{t_1}^{\infty} \frac{q\Delta O_2}{AL} dt$$

Dimana : $C_f = 0$ pada $t = \infty$, maka :

$$C_f^n(t) = \left(\frac{q\Delta O_2}{AL} \right) \left(\frac{1}{A_r P_{O_2}^m C_f^n \exp \left(- \frac{E}{RT} \right)} \right)$$

Sehingga :

$$\frac{\Delta O_2}{\left[\int_{t_1}^{\infty} O_2 dt \right]^n} = \beta \exp \left(- \frac{E}{RT} \right)$$

Dan
$$\beta = \left(\frac{q}{AL} \right)^{n-1} \frac{A_r P_{O_2}^m}{\alpha^n}$$

Selanjutnya Menurut *Altun NE, et al, Elsevier, 2004., [10]* juga mengatakan bahwa pembakaran briket dipengaruhi oleh ukuran briket. Briket dengan ukuran lebih besar dari 5.5 x 4.0 cm, akan mempunyai energy aktivasi lebih besar dari 41.14 (kJ/mol), sehingga efektifitas pembakaran akan berkurang dengan semakin besarnya ukuran briket.

Menurut [11] perbandingan pembakaran antara briket batubara yang mengandung kadar air lebih dari 10 % dengan briket kering yang tidak mengandung kadar air menunjukkan bahwa waktu penyalaan akan bertambah dengan semakin banyaknya kandungan kadar air, namun akan semakin berkurang dengan semakin tingginya temperatur. Laju pembakaran briket akan berkurang dengan bertambahnya kandungan air. Untuk kandungan air 10 % – 20 %, maka laju pembakaran adalah 0.0508 – 0.0439 s⁻¹. Sedangkan waktu yang diperlukan untuk menyala adalah 15 – 30 menit pada temperatur 700 °C. Semakin banyak kandungan air, maka pengurangan beratpun akan semakin lambat. Pengurangan berat ini menjadi 0.7 – 0.8 dari berat semula setelah 30 menit, dan mulai konstant mencapai 0.5 – 0.6 setelah 90 menit.. Laju pembakaranpun meningkat hingga lebih dari 0.02 min⁻¹ setelah 15 menit.

Laju pembakaran : $-r_A$ atau $\frac{dm_A}{dt}$, dimana m_A

adalah berat briket. Maka :

$$-r_A = -\frac{dm_A}{dt} = km_A^n$$

Dimana : k = konstanta laju pembakaran

n = pangkat reaksi

pangkat pertama adalah $n = 1$, dan pangkat kedua $n = 2$

untuk pangkat pertama :
$$-\ln \left(\frac{m_A - m_{Ae}}{m_{A0} - m_{Ae}} \right) = kt$$

untuk pangkat kedua :
$$\left(\frac{1}{m_A - m_{Ae}} \right) - \left(\frac{1}{m_{A0} - m_{Ae}} \right) = kt$$

m_{A0} dan m_{Ae} adalah berat briket awal dan akhir.

Menurut [12], hubungan antara temperatur bara dan energy panas yang dilepaskan adalah :

$$\left(\frac{\partial H_A}{\partial T} \right)_p = C_{pA}$$

asil pengukuran

Sehingga :

$$\Delta H_r = \Delta H_r^0 + \frac{1}{a} \left[\int_{T_0}^{T_1} a C_{pA}^0 dT + \int_{T_0}^{T_1} b C_{pB}^0 dT + \int_{T_0}^{T_1} c C_{pC}^0 dT + \int_{T_0}^{T_1} d C_{pD}^0 dT \right]$$

Atau dapat ditulis dengan persamaan pada [13] sbb :



$$\Delta H_T = \Delta H_{T_0} + \sum (N_i \bar{C}_{p_i})_{prod} (T - T_0) - \sum (N_i \bar{C}_{p_i})_{react} (T - T_0)$$

Hal ini berarti jumlah kalor yang dilepaskan pada temperatur tertentu merupakan jumlah kalor hasil reaksi pembakaran yang akan ditambahkan kedalam system pada temperatur T_0 .

2.2. Acuan untuk simulasi

Simulasi yang dilakukan adalah *Computational Fluid Dynamic* melalui pendekatan *non-premix modeling*. Kondisi thermokimia dinyatakan sebagai fraksi campuran, f yang digambarkan sebagai fraksi massa atomik sbb :

$$f = \frac{Z_i - Z_{i,ox}}{Z_{i,briket} - Z_{i,ox}}$$

Z_i adalah fraksi massa unsure i dan ox menunjukkan *oxidizer* yang masuk kedalam ruang bakar. Jika koefisien difusi untuk semua unsur adalah sama, maka persamaan diatas berlaku untuk semua unsur. Persamaan diatas berlaku untuk aliran fluida dimana nyala api yang terjadi laminar, dan dapat diturunkan sehingga dapat digunakan untuk nyala api turbulenta. Bila nilai *density* yang dimasukkan adalah nilai *density* rata-rata, maka persamaan untuk fraksi campuran adalah :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{f}) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} \bar{f}) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \nabla \bar{f} \right) + S_m + S_{user}$$

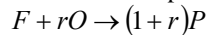
S_m adalah transfer massa briket yang terlibat kedalam reaksi pembakaran sedangkan S_{user} adalah massa yang didefinisikan berikutnya. Maka Persamaan Konservasi

untuk varian fraksi campuran \bar{f}'^2 adalah sbb :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{f}'^2) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} \bar{f}'^2) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_t} \nabla \bar{f}'^2 \right) + C_g \mu_t (\nabla \bar{f})^2 - C_d \rho \frac{\epsilon}{k} \bar{f}'^2 + S_{user}$$

Dimana $f' = f - \bar{f}$, dan konstanta σ_t , C_g , dan C_d adalah 0.85, 2.86, dan 2.0. Sedangkan S_{user} ditentukan.

Jika dalam ruang bakar terdapat bahan bakar (briket) F dan oksigen yang mengalir masuk kedalam ruang bakar O, maka akan menghasilkan produk pembakaran P, dimana kondisi pembakaran adalah stoichiometric.



Dimana r adalah rasio antara briket dan udara berdasarkan perbandingan massa, maka rasio ekuivalen ϕ adalah :

$$\phi = \frac{(briket/udara)_{aktual}}{(briket/udara)_{stoichiometric}}$$

Maka persamaan campuran secara umum dapat ditulis : $\phi F + rO \rightarrow (\phi + r)P$

Pada kondisi pembakaran yang kaya akan briket $\phi > 1$, bila pembakaran berlangsung pada fraksi campuran stoichiometric maka $\phi = 1$, dan bila pada kondisi miskin akan briket maka $\phi < 1$

Untuk kondisi murni oksidan, maka $f = 0$ sedangkan kondisi murni briket maka $f = 1$. Berarti bila kondisinya adalah campuran, maka $0 < f < 1$.

$$\dot{m}_{briket} + \dot{m}_{recycle} f_{keluar} = (\dot{m}_{briket} + \dot{m}_{ox} + \dot{m}_{recycle}) f_{keluar}$$

Atau :
$$f_{keluar} = \frac{\dot{m}_{briket}}{\dot{m}_{briket} + \dot{m}_{oksigen}}$$

Sehingga hubungannya dengan temperatur bara briket didapat dengan persamaan :

$$\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{2} \rho \chi \frac{\partial^2 T}{\partial f^2} - \frac{1}{c_p} \sum_i H_i S_i + \frac{1}{2c_p} \rho \chi \left[\frac{\partial c_p}{\partial f} + \sum_i c_{p,i} \frac{\partial Y_i}{\partial f} \right] \frac{\partial T}{\partial f}$$

Dimana Y_i , T , ρ dan f adalah fraksi massa senyawa i ke h , temperatur, density, dan fraksi campuran. $c_{p,i}$ dan c_p adalah panas spesifik senyawa ke i dan panas spesifik rata-rata campuran. S_i adalah laju reaksi senyawa ke i dan H_i enthalpy senyawa ke i . Sedangkan χ adalah pemodelan dari nyala yang terbentuk, yaitu :

$$\chi(f) = \frac{a_s}{4\pi} \frac{3(\sqrt{\rho_\infty/\rho} + 1)^2}{2\sqrt{\rho_\infty/\rho} + 1} \exp\left(-2[erfc^{-1}(2f)]^2\right)$$

Dimana ρ_∞ adalah density dari oxidizer.

Sehingga didapat hubungan antara komposisi oksigen dan briket dengan temperatur nyala bara rata-rata melalui simulasi *Computational Fluid Dynamic* yang dilakukan

3. Prosedur Pengujian

Briket batubara yang digunakan dalam eksperimen ini adalah briket yang berasal dari batubara kalori rendah di Sumatera Selatan. Komposisi kimia dan nilai kalor briket ditampilkan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Komposisi Briket Batubara Non Karbonisasi,

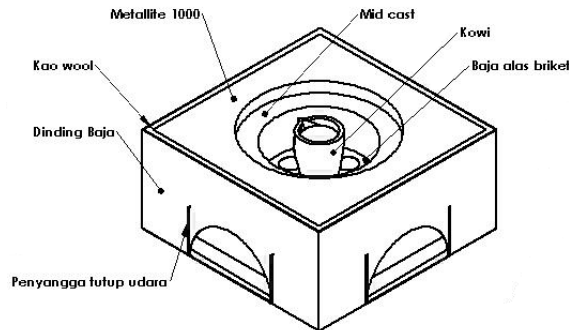
Parameter	Total moisture (ar)	Inherent moisture (adb)	Ash content (adb)	Volatile matter (adb)	Fixed carbon (adb)	Total sulfur (adb)
Komposisi (%)	17.01	12.11	14.21	36.74	36.94	0.43
Gross Caloric Value (adb) cal/g						5223

sampel 1 [1]

Briket ini kemudian diuji secara eksperimental dengan pembakaran natural draft. Pembakaran dilakukan didalam ruang bakar tungku yang akan digunakan untuk melebur kuningan. Udara pembakaran akan masuk dari lubang-lubang pelat di bagian bawah ruang bakar melalui tarikan alamiah atau *natural draft*. Gambar 1

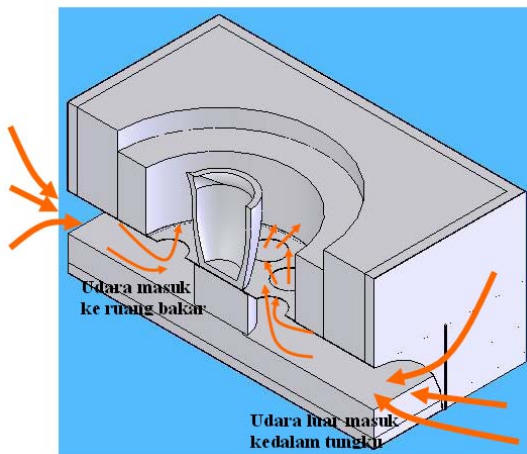


menunjukkan tungku yang digunakan untuk menguji pembakaran briket secara natural draft tersebut.



Gambar 1. Tungku yang akan digunakan untuk menguji pembakaran briket batubara secara natural draft.

Udara masuk ruang bakar diukur dengan menggunakan hot wire anemometer. Kecepatan rata-rata udara masuk adalah 0.005 m/s. Arah aliran udara ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.

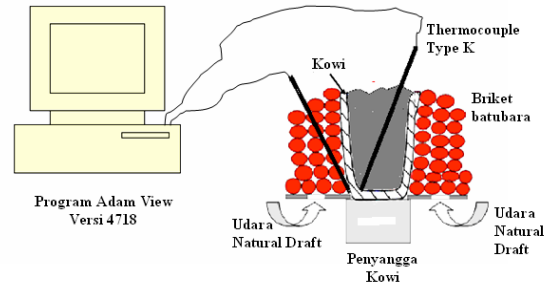


Gambar 2. Arah aliran udara masuk menuju ruang bakar secara natural draft.

Kemudian dilakukan pengujian pembakaran dimana ruang bakar dibiarkan dalam keadaan terbuka. Kondisi ini digunakan adalah untuk mengetahui temperatur yang paling tinggi yang dapat dicapai oleh bara batubara bila terjadi rugi-rugi maksimum karena adanya kalor yang hilang akibat radiasi dan konveksi karena berhubungan langsung dengan udara lingkungan.

Pada proses pembakaran, udara yang masuk dari lubang di bagian bawah tungku diukur dengan menggunakan Hot Wire Anemometer dan ternyata kecepatan udara rata-rata adalah 0.005 m/detik. Sedangkan temperatur

bara diukur dengan menggunakan 2 thermocouple type k yang diletakkan di dinding bagian dalam dan di dinding bagian luar kowi. Perubahan temperatur yang diukur oleh thermocouple dibaca dengan menggunakan program ADAM VIEW versi 4718.



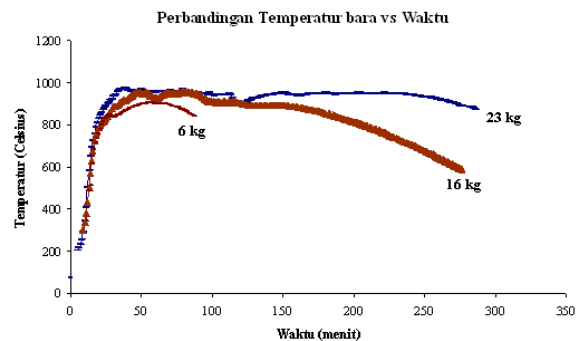
Gambar 3. Metode eksperimen

Kajian analitis dilakukan dengan menggunakan program Excel Versi 2003 berdasarkan data dari hasil pengukuran eksperimen.

3. Kajian dan Pembahasan

3.1 Pengujian dengan eksperimen

Pada eksperimen ini dilakukan pembakaran terhadap berat briket yang bervariasi. Mula-mula dilakukan pembakaran terhadap 6 kg briket, lalu 16 kg, dan selanjutnya 23 kg. Gambar hasil eksperimen yang menampilkan hubungan antara temperatur rata-rata dan waktu ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Perbandingan T vs t untuk briket batubara 5223 kcal pada berat briket bervariasi

Pada grafik hasil pengujian menunjukkan bahwa laju kenaikan temperatur pada daerah linear adalah :

$$T_r = \frac{T_1 - T_0}{t_2 - t_0}$$

Dan laju kenaikan temperatur pada briket 5223 kcal/kg , $T_1 = 800 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_1 = 20 \text{ menit} = 1200 \text{ detik}$, $t_0 = 0 \text{ detik}$. Maka $T_r = 0.23 \text{ }^\circ\text{C/s}$

Udara masuk keruang bakar dari lubang dibagian bawah tungku dimana diameter lubang udara masuk adalah 80 mm sebanyak 6 lubang. Karena luas lubang masuk total



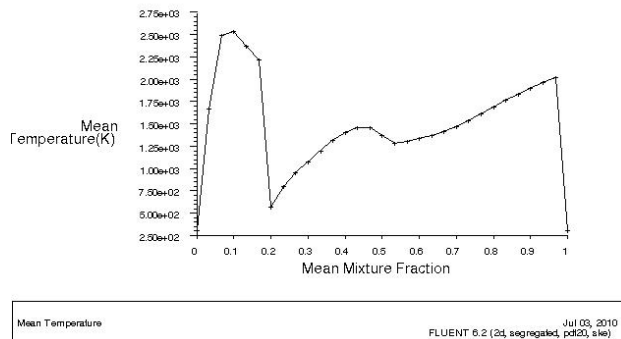
maka laju aliran udara kedalam ruang bakar adalah 0.150855 Liter/s. atau 9.0513 Liter/min

Kandungan oksigen dalam udara adalah 21 %, sehingga laju aliran oksigen masuk ruang bakar adalah 1.900773 Liter/min..Karena density oksigen pada temperatur kamar adalah $\rho = 1.3 \text{ kg/m}^3$, maka berat oksigen yang masuk ruang bakar permenit adalah : 0.002471 kg/min.

Menurut [7] pada suatu reaksi kimia terdapat keterbatasan kemampuan reaktan untuk bereaksi, sehingga dalam proses pembakaran diperlukan udara lebih. Maka selanjutnya Altun [8] mengatakan bahwa dengan pembakaran natural draft, konsumsi oksigen hanya mencapai 14.70 % dan temperatur maksimum yang dapat dicapai hanya 970 °C.. Produksi CO < 2 % dan CO₂ < 14 %.

3.2 Simulasi CFD

Simulasi dengan CFD menunjukkan bahwa pembakaran pada kondisi campuran miskin oksigen, miskin briket, dan fraksi campuran diantara keduanya. Pada kondisi miskin dan kaya oksigen temperatur bara yang dicapai sangat rendah. Sedangkan pada fraksi campuran, temperatur yang dicapai bervariasi. Gambar hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Hubungan temperatur bara rata-rata dan fraksi campuran antara briket dan oksigen

Pada Gambar hasil simulasi diatas tampak bahwa dengan pembakaran natural draft, temperatur maksimum yang dapat dicapai adalah 2500 K pada campuran 90 % udara dan 10 % briket. Bila menurut literatur [8] konsumsi oksigen maksimum hanya 14.7 %, dari jumlah oksigen yang dimasukkan kedalam ruang bakar, maka berarti 14 % dari 21%, yaitu : hanya 3%, atau 0.03. Maka pada kondisi ideal untuk penyerapan udara sebanyak ini adalah : 1250 K atau 977 °C.

Agar dapat digunakan untuk mencairkan paduan tembaga, dimana untuk dapat mengatasi rugi-rugi thermal temperatur bara briket yang dibutuhkan adalah 1300 °C atau 1573 K, maka oksigen yang dibutuhkan adalah 0.05 dari fraksi campuran oksigen dan briket.dan

oksigen yang harus dapat terlibat dalam reaksi pembakaran sebanyak 24 %.

Bila secara natural draft oksigen yang mampu diserap hanya 14.7 %, berarti kekurangan sebanyak 9.3 % harus ditambahkan kedalam ruang bakar dari luar. Hal ini berarti akan membutuhkan udara tambahan sebanyak 44.29 % dari udara stoichiometric yang dibutuhkan. Bila udara yang berada didalam ruang bakar dengan volume : 0.024281 m³, dan density udara 1.1769 kg/m³. Jadi berat udara dalam ruang bakar adalah : 0.028577 kg. Kecepatan udara masuk ruang bakar secara natural draft 0.005 m/s. Diameter lubang masukan udara masing-masing adalah 80 mm atau 0.08 m sebanyak 6 lubang. Maka luas total lubang adalah : 0.030171 m². Jadi debit udara masuk ruang bakar adalah : 0.000151 m³/s, dan laju aliran 0.000178 kg/s. Jumlah udara total dalam ruang bakar pada 0.028754 kg. Oksigen yang dikandung oleh udara ini adalah 21 % dari total udara atau sebanyak 0.006038 kg. Dan yang bereaksi dengan briket pada proses pembakaran adalah 14.7 %nya atau 0.000888 kg. Dari uraian diatas, bahwa untuk mendapatkan temperatur pembakaran lebih dari 1500 K maka dibutuhkan 24% konsumsi oksigen atau sebanyak : 0.001449 kg harus ditambahkan dari luar. Bila angka ini adalah 21% oksigen dari total udara yang ditambahkan kedalam ruang bakar berarti harus dimasukkan udara sebanyak 0.006901 kg/s. Bila dihubungkan dengan density, maka debit udara net yang dibutuhkan adalah : 0.005864 m³/s. Kecepatan udara keluar lubang adalah : 1.166077 m/s.

4. Kesimpulan

1. Hasil eksperimen dan simulasi menunjukkan hasil yang hampir berhimpit. Penyimpangan yang terjadi adalah akibat kesalahan dalam pengukuran.
2. Pada pembakaran dimana campuran pada kondisi semakin banyak oksigen dan semakin miskin oksigen, akan mengakibatkan temperatur pembakaran akan semakin rendah bahkan mencapai minimum.
3. temperatur 1500 K akan dicapai bila kecepatan udara masuk dari lubang-lubang alas briket dinaikkan dari 0.005 m/s menjadi 1.166077 m/s

Daftar Pustaka

- [1] Pabrik Briket Natar, "Data Sheet", Pebruari 2010
- [2] Levenspiel, O., "Chemical Reaction Engineering", John Wiley & Sons, 2nd Edition, Singapore 1972
- [3] Smith, JM., Van Ness, HC., Abbott, MM., "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", McGraw-Hill Co. Inc., 5th Edition, Singapore, 1996
- [4] Pope, CW., Barrow, H., "Theoretical Analysis of fluid flow and heat transfer in stoichiometric



- combustion in a naturally-ventilated control-volume*", ELSEVIER, Applied Energy, 2006, p: 464-476
- [5] Fristrom, RM., Westenberg, AA., "*Flame Structure*", McGraw-Hill Book Co., New York, 1965
- [6] Altun, NE., Hicyilmaz, C., Bagci, AS., "*Combustion Characteristics of Coal Briquette 1. Thermal Feature*", International Journal ACS, 2003, p. 1266-1276
- [7] Thompson, VE., Ceckler, WH., "*Introduction to Chemical Engineering*", McGraw-Hill Co. Inc., Singapore, 1977
- [8] Altun, NE., Hicyilmaz, C., Bagci, AS., "*Combustion Characteristics of Coal Briquette 2. Reaction Kinetics*", International Journal ACS, 2003, p. 1277-1282
- [9] Pratiwi, DK., Nugroho, YS., Koestoer, RA., Soemardi, TP., "*Experimental Study of South Sumatra Low Rank Coal Briquette Flame Temperature*" International Seminar FTEC, Gyeongsang National University of Korea, 2009, p :
- [10] Altun, NE., Hicyilmaz, C., Bagci, AS., "*Influence of Coal Briquette Size on the Combustion Kinetics*", ELSEVIER, Fuel Processing Technology, 2004, p. 1345-1357
- [11] Sirittheerasa, P., Chunnuyom, C., Sethabunjong, P., "*Combustion of Moist Coal Briquette*", Chiang Mai Journal Science, 2008, p. 35-42
- [12] Holland, CD., Anthony, RG., "*Fundamentals of Chemical Reaction Engineering*", Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1989
- [13] Smith, JM., "*Chemical Engineering kinetics*", McGraw-Hill Kogakusha .LTD., 2nd Edition, Tokyo, 1970

