

STUDI AIR FUEL RATIO (AFR) BATUBARA DENGAN METODE STOIKIOMETRI DI PT. YUFA KALIMANTAN, KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR

(Study of Coal Air Fuel Ratio (AFR) Using Stoichiometry Method in PT. Yufa Kalimantan Kutai Kartanegara District East Kalimantan Province)

Abdurrahman Yogie Suida Ilham, Agus Winarno, Sakdillah

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda

Email: yogiegfs@gmail.com

Abstrak

Air Fuel Ratio (AFR) merupakan perbandingan jumlah udara dan bahan bakar pada proses pembakaran dalam satuan massa atau volume. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan nilai Air Fuel Ratio (AFR) stoikiometri dengan menghitung jumlah zat, kesetaraan reaksi kimia, dan massa udara yang dibutuhkan pada proses pembakaran batubara. Data penelitian diperoleh dengan analisis proksimat batubara yaitu inherent moisture, ash content, volatile matter, dan fixed carbon. Analisis ultimat yang terdiri dari karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Pengolahan data penelitian dilakukan berdasarkan tiap basis hasil analisis batubara yaitu as received, air dried, dry, dan dry ash free. Analisis AFR stoikiometri dilakukan dengan menghitung jumlah zat tiap unsur, reaksi kimia setimbang, dan menghitung jumlah zat oksigen pembakaran. Karena analisis AFR penelitian ini menggunakan satuan massa, dilakukan perhitungan jumlah massa udara dan nilai AFR berdasarkan basis dan reaksi kimia. Hasil dari penelitian ini didapatkan jenis batubara yang digunakan berdasarkan analisis proksimat dan ultimat yaitu batubara lignite. Hasil reaksi kimia terdiri atas reaksi $CHS+O_2$ dan $CHONS+O_2$ yang berpengaruh terhadap nilai AFR karena perbedaan jumlah zat oksigen pada reaksi kimia setimbang. Nilai air fuel ratio (AFR) reaksi $CHS+O_2$ dan $CHONS+O_2$ as received basis 5,42 dan 3,42, air dried basis 6,49 dan 4,95, dry basis 8,09 dan 7,23, dry ash free basis 9,71 dan 8,67.

Kata Kunci: *Air Fuel Ratio (AFR), proksimat, stoikiometri, ultimat.*

Abstract

Air Fuel Ratio (AFR) is the ratio of the amount of air and fuel in the combustion process in units of mass or volume. In this study, Air Fuel Ratio (AFR) stoichiometry measured by calculating the amount of substance, chemical reaction equivalence, and air mass required in the combustion process of coal. Research data obtained by proximate analysis, namely inherent moisture, ash content, volatile matter, and fixed carbon. Ultimate analysis consist of carbon (C), hydrogen (H), oxygen (O), nitrogen (N), and sulfur (S). Data processing of this study based on each basis of coal analysis report, namely as received, air dried, dry, and dry ash free. AFR stoichiometry analysis is carried by calculating the amount of substances for each element, chemical reaction equivalence, and calculating the amount of combustion oxygen. Because the AFR analysis of this study used mass units, the calculation of the amount of air mass and the AFR value is based on the basis and chemical reaction. The results of this study showed that the type of coal based on proximate and ultimate analysis was lignite coal. The results of chemical reactions consist of $CHS+O_2$ and $CHONS+O_2$ which affect the AFR value due to the difference in the amount of oxygen in the chemical reaction equivalence. The air fuel ratio (AFR) value of $CHS+O_2$ and $CHONS+O_2$ as received basis 5.42 and 3.42, air dried basis 6.49 and 4.95, dry basis 8.09 and 7.23, dry ash free base 9.71 and 8.67.

Keywords: *Air Fuel Ratio (AFR), proximate, stoichiometry, ultimate.*

PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu bahan bakar utama pada PLTU di Indonesia. Analisa batubara diperlukan untuk mengetahui kualitas batubara dapat digunakan pada PLTU atau diluar *range design* PLTU tersebut (Samlawi, 2017). Pembakaran batubara pada PLTU memerlukan analisis secara aktual dan teoritis agar dapat menghasilkan energi yang maksimal dalam proses konversi energi pada PLTU.

Stoikiometri berkaitan erat dengan reaksi

kimia, seperti massa atom relatif, massa molekul relatif, massa molar, dan lain-lain. Stoikiometri dapat digunakan untuk menghitung jumlah udara yang dibutuhkan pada pembakaran batubara. Analisis perhitungan pembakaran secara stoikiometri dilakukan terlebih dahulu sebelum terjadinya pembakaran secara aktual, karena berpengaruh terhadap rekomendasi perbandingan udara berdasarkan kualitas batubara yang digunakan. Perbandingan udara dan bahan bakar yang tidak sesuai dengan rekomendasi akan mempengaruhi kesempurnaan pembakaran.

Pembakaran yang tidak sempurna akan berdampak terhadap energi yang dihasilkan tidak akan maksimal.

Air Fuel Ratio (AFR) adalah perbandingan udara dan bahan bakar. AFR aktual diperoleh dengan uji coba reaksi pembakaran yang benar-benar terjadi, sedangkan AFR stoikiometri diperoleh dengan melakukan perhitungan pada reaksi kimia pembakaran (Widodo dkk, 2014).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) dengan metode perhitungan stoikiometri sehingga dapat digunakan sebagai rekomendasi pada pembakaran batubara.

METODOLOGI

Metodologi pada penelitian ini dilakukan dengan berbagai tahap yaitu tahap pendahuluan, pengumpulan data serta pembahasan dan analisis data.

Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi literatur yang dilakukan sebagai titik awal dari penentuan konsep dan rancangan penelitian. Melalui kegiatan ini diperoleh data yang diperlukan dari berbagai referensi mengenai studi *Air Fuel Ratio* (AFR) batubara dengan metode stoikiometri.

Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Preparasi Sampel

Preparasi sampel adalah persiapan sampel sedemikian rupa sehingga menjadi sampel yang siap diuji dan dianalisis. Standar yang digunakan adalah ASTM.

2. Analisis Proksimat

Analisis proksimat dilakukan untuk mengetahui *moisture*, *ash content*, *volatile matter*, *fixed carbon*, dan *calorific value* pada batubara. Standar yang digunakan dalam penelitian ini adalah ASTM.

3. Analisis Ultimat

Analisis ultimat dilakukan untuk mengetahui persentase karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan sulfur pada batubara. Standar yang digunakan dalam penelitian ini adalah ASTM.

4. Data Sekunder

Data sekunder pada penelitian ini meliputi persentase oksigen di udara, massa molar udara, dan massa atom relatif (Ar).

Tahap Pembahasan dan Analisis Data

Pada tahap pembahasan dan analisis data dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Analisis jumlah zat unsur batubara.
2. Analisis reaksi pembakaran.
3. Analisis jumlah zat oksigen pembakaran.

4. Analisis *air fuel ratio* (AFR).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Proksimat

Analisis proksimat dilakukan setelah preparasi sampel dengan menggunakan standar ASTM D-3172 untuk menentukan *moisture*, *volatile matter*, *ash content*, dan *fixed carbon*.

Tabel 1. Hasil analisis proksimat

	As Received	Air Dried	Dry	Dry Ash Free
IM (%)	16,49	19,74	-	-
Ash (%)	11,18	13,39	16,68	-
VM (%)	32,47	38,88	48,44	58,14
FC (%)	23,38	27,99	34,87	41,86

Hasil tiap parameter pada basis yang berbeda dapat diperoleh dengan cara mengkonversi, karena pada umumnya analisis proksimat menggunakan basis *air dried*. Perhitungan konversi kebasis lainnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} IM_{(ar)} &= IM_{ad} \times \frac{100-M_{ar}}{100-M_{ad}} \\ &= 19,74 \times \frac{100-32,97}{100-19,74} \\ &= 16,49 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ash_{(ar)} &= Ash_{ad} \times \frac{100-M_{ar}}{100-M_{ad}} \\ &= 13,39 \times \frac{100-32,97}{100-19,74} \\ &= 11,18 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VM_{(ar)} &= VM_{ad} \times \frac{100-M_{ar}}{100-M_{ad}} \\ &= 38,88 \times \frac{100-32,97}{100-19,74} \\ &= 32,47 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{(ar)} &= FC_{ad} \times \frac{100-M_{ar}}{100-M_{ad}} \\ &= 27,99 \times \frac{100-32,97}{100-19,74} \\ &= 23,38 \% \end{aligned}$$

Klasifikasi batubara dapat dilihat dengan perbandingan nilai tiap parameter pengujian dengan klasifikasi batubara menurut SNI, ASTM, dan nilai analisis proksimat menurut Speight (2005) seperti terlihat pada Tabel 2.

Klasifikasi batubara menurut SNI dan ASTM menggunakan nilai kalori untuk batubara peringkat rendah. Pada data *preliminary report*, nilai kalori batubara untuk basis *as received* adalah 4237 kcal/kg, sedangkan pada klasifikasi berdasarkan ASTM menggunakan satuan btu/lb, untuk itu diperlukan konversi dengan perhitungan sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil analisis proksimat berdasarkan Speight (2005) dan data penelitian

	Lignite	Subbituminous	Air Dried
IM (%)	25 - 45	10 - 25	19,74
Ash (%)	3 - 15	3 - 10	13,39
VM (%)	24 - 32	28 - 45	38,88
FC (%)	25 - 30	30 - 57	27,99

$$1 \text{ kcal} = 3,96567 \text{ btu}$$

$$1 \text{ kg} = 2,20462 \text{ lb}$$

$$1 \text{ kcal/kg} = \frac{3,96567 \text{ btu}}{2,20462 \text{ lb}} = 1,7655 \text{ btu/lb}$$

$$4237 \text{ kcal/kg} \times 1,7655 \text{ btu/lb} = 7480,42 \text{ btu/lb}$$

Hasil analisis proksimat basis *air dried* berdasarkan Speight (2005) masuk dalam kategori *lignite*. Nilai kalori 4237 kcal/kg berdasarkan SNI termasuk batubara kalori rendah (*lignite*) dan nilai kalori 7480,42 btu/lb berdasarkan ASTM termasuk batubara *lignite* A, sehingga dapat disimpulkan berdasarkan hasil analisis proksimat dan nilai kalori batubara yang digunakan untuk analisis *air fuel ratio* (AFR) termasuk dalam jenis batubara *lignite*.

Analisis Ultimat

Analisis ultimat dilakukan untuk menentukan karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan sulfur. Analisis oksigen pada pengujian ultimat dilakukan dengan pengurangan dari jumlah persentase *ash*, karbon, hidrogen, nitrogen, dan sulfur, dengan total keseluruhan 100 persen.

Tabel 3. Hasil analisis ultimat

	As Received	Air Dried	Dry	Dry Ash Free
Karbon (%)	38,09	45,61	56,83	68,21
Hidrogen (%)	3,01	3,60	4,49	5,38
Nitrogen (%)	1,11	1,33	1,66	1,99
Sulfur (%)	0,20	0,24	0,30	0,36

Klasifikasi batubara dapat dilihat dengan perbandingan nilai tiap parameter pengujian dengan nilai analisis ultimat menurut Speight (2005).

Tabel 4. Hasil analisis ultimat berdasarkan Speight (2005) dan data penelitian

	Lignite	Subbituminous	Air Dried
Karbon (%)	35 - 45	55 - 70	45,61
Hidrogen (%)	6 - 7,5	5,5 - 6,5	3,60
Oksigen (%)	38 - 48	15 - 30	35,83
Nitrogen (%)	0,6 - 1	0,8 - 1,5	1,33
Sulfur (%)	0,3 - 2,5	0,3 - 1,5	0,24

Pada analisis ultimat, klasifikasi batubara penelitian ini ditentukan dengan basis *air dried* seperti

analisis proksimat. Berdasarkan nilai tiap parameter, batubara yang digunakan termasuk dalam *lignite* karena nilai karbon, oksigen, dan sulfur masuk kedalam kategori *lignite*.

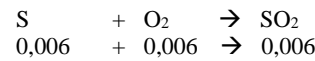
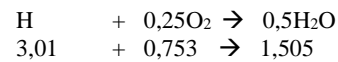
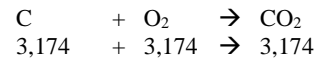
Analisis Stoikiometri

Analisis stoikiometri pada batubara dilakukan dengan menghitung jumlah zat tiap unsur dan kesetaraan reaksi pembakaran unsur dengan oksigen. Untuk menghitung jumlah zat unsur digunakan nilai massa unsur dan massa atom relative (Ar).

Tabel 5. Jumlah zat unsur batubara

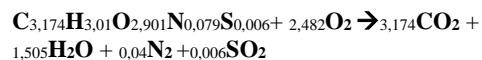
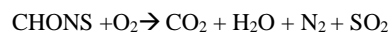
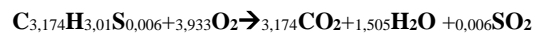
	As Received	Air Dried	Dry	Dry Ash Free
mol Karbon	3,174	3,801	4,736	5,684
mol Hidrogen	3,01	3,6	4,49	5,38
mol Oksigen	2,901	2,239	1,253	1,504
mol Nitrogen	0,079	0,095	0,119	0,142
mol Sulfur	0,006	0,008	0,009	0,011

Reaksi pembakaran batubara dapat diketahui dengan penyeteraan reaksi kimia menggunakan mol tiap unsur yang bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan mol oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran. Reaksi pembakaran unsur batubara basis *as received*:



Jumlah mol oksigen pembakaran:
 $3,174 + 0,753 + 0,006 = 3,933$

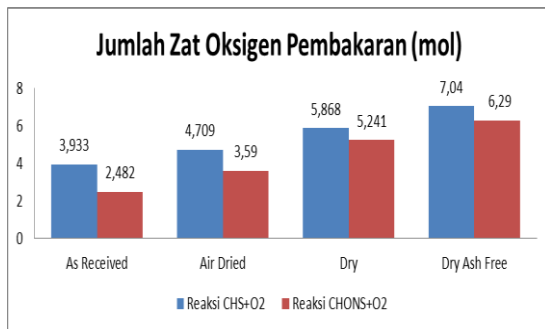
Reaksi pembakaran batubara secara keseluruhan:
 $CHS + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + SO_2$



Hasil reaksi kimia pembakaran dengan unsur karbon, hidrogen, dan sulfur yang bereaksi dengan oksigen, jumlah mol oksigen adalah 3,933, sedangkan pada reaksi kimia pembakaran batubara secara keseluruhan, jumlah mol oksigen adalah 2,482.

Jumlah zat unsur dipengaruhi oleh persentase unsur yang diperoleh melalui analisis ultimat. Nilai ini akan berbeda berdasarkan basis yang digunakan karena hasil analisis ultimat akan berbeda berdasarkan basis dan berpengaruh terhadap reaksi kimia. Dalam analisis stoikiometri pembakaran, kesetaraan reaksi kimia menjadi faktor penting dalam menentukan jumlah mol oksigen. Reaksi kimia yang tidak setimbang akan

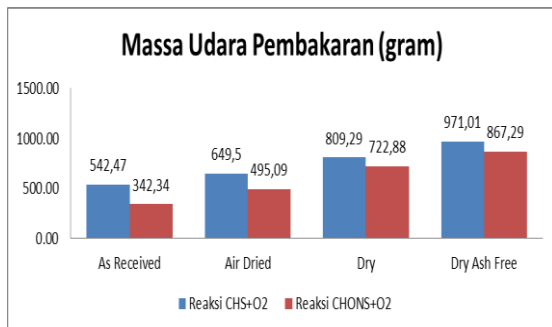
berpengaruh terhadap panas yang dihasilkan tidak maksimal. Perbedaan jumlah zat oksigen pembakaran berdasarkan reaksi kimia dan basis yang digunakan dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 1. Perbedaan jumlah zat oksigen pembakaran

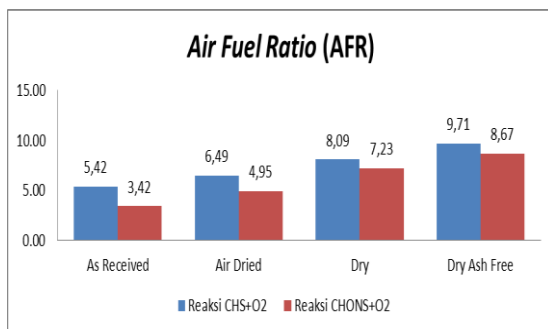
Analisis Air Fuel Ratio (AFR)

Untuk mengetahui kebutuhan udara pada pembakaran batubara, dibutuhkan analisis *air fuel ratio*. Jumlah mol oksigen pada tiap basis yang digunakan harus di konversi ke satuan massa. Perbedaan nilai massa udara pembakaran berdasarkan reaksi kimia dan basis yang digunakan dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 2. Perbedaan massa udara pembakaran

Perbedaan nilai *air fuel ratio* (AFR) berdasarkan reaksi kimia dan basis yang digunakan dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 3. Perbedaan nilai *air fuel ratio* (AFR)

Jumlah zat oksigen pembakaran dan massa

udara akan memengaruhi nilai *air fuel ratio* (AFR). Pada hasil perhitungan nilai jumlah zat oksigen, massa udara dan AFR mengalami pola yang sama, yaitu penurunan nilai berdasarkan reaksi dan kenaikan nilai berdasarkan basis yang digunakan.

Penurunan nilai jumlah zat oksigen, massa udara, dan *air fuel ratio* (AFR) pada reaksi pembakaran CHONS+O₂ disebabkan oleh persentase oksigen yang terdapat pada batubara, sehingga untuk kesetaraan reaksi kimia, nilai mol oksigen untuk pembakaran batubara akan lebih kecil dari nilai yang seharusnya. Sedangkan pada reaksi pembakaran CHS+O₂, oksigen yang terdapat pada batubara tidak digunakan dalam perhitungan karena tidak dapat mengalami pembakaran, sehingga tidak memengaruhi kesetaraan reaksi kimia dan nilai mol oksigen pembakaran tidak mengalami penurunan.

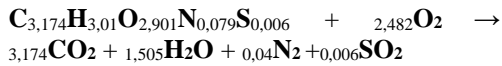
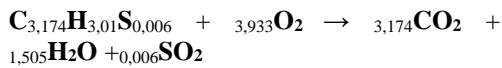
Kenaikan jumlah zat oksigen pembakaran pada setiap basis disebabkan oleh persentase unsur kimia batubara. Pada hasil analisis proksimat dan ultimat, semua parameter batubara mengalami kenaikan yang disebabkan oleh basis, karena setiap basis memiliki parameter yang berbeda. Sebagai contoh, pada basis *as received* terdapat nilai *total moisture* yang merupakan jumlah dari *surface moisture* dan *inherent moisture*. Jika menggunakan basis *air dried*, maka nilai *surface moisture* tidak akan digunakan, sehingga persentase parameter lainnya akan lebih besar dari basis *as received*. Faktor ini juga berpengaruh terhadap unsur kimia pada analisis ultimat batubara.

Pada saat proses pembakaran batubara pada PLTU, nilai AFR sangat diperlukan agar menghasilkan panas yang maksimal. Setelah mengetahui nilai AFR stoikiometri, perlu dilakukan peninjauan terhadap AFR aktual pada boiler. Apabila nilai AFR aktual lebih besar dari nilai AFR stoikiometri, akan menghasilkan campuran kurus yang berarti kekurangan bahan bakar. Apabila nilai AFR aktual lebih kecil dari nilai AFR stoikiometri, akan menghasilkan campuran kaya yang berarti kelebihan bahan bakar. Hal ini akan berdampak terhadap energi panas yang dihasilkan dan gas buang pada proses pembakaran.

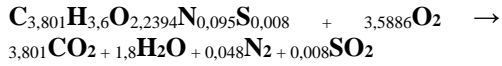
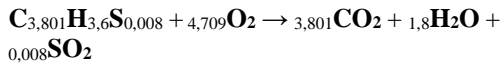
KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

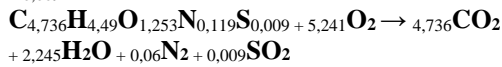
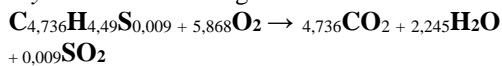
1. Jenis batubara yang digunakan adalah *lignite*, berdasarkan hasil analisis proksimat (*inherent moisture* 19,74%, *volatile matter* 58,14%, dan *fixed carbon* 27,99%) dan ultimat (karbon 45,61%, hidrogen 3,6%, dan oksigen 35,83%) dalam *air dried basis*.
2. Hasil Reaksi kimia pembakaran batubara pada *as received basis* adalah sebagai berikut:



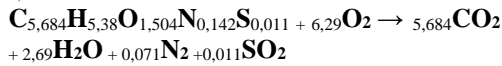
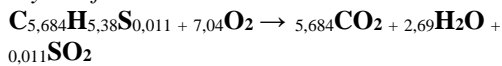
Hasil Reaksi kimia pembakaran batubara pada *air dried basis* adalah



Hasil Reaksi kimia pembakaran batubara pada *dry basis* adalah sebagai berikut:



Hasil Reaksi kimia pembakaran batubara pada *dry ash free basis* adalah



3. Nilai *air fuel ratio* (AFR) reaksi CHS+O₂ dan CHONS+O₂ *as received basis* (5,42 dan 3,42), *air dried basis* (6,49 dan 4,95), *dry basis* (8,09 dan 7,23), *dry ash free basis* (9,71 dan 8,67).

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk melakukan analisis dengan berbagai jenis batubara.
2. Untuk menganalisis pengaruh berbagai jenis batubara terhadap nilai *air fuel ratio* (AFR).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung; orang tua, dosen pembimbing, dosen penguji, PT. Yufa Kalimantan, dan juga semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM D-2013, *Standard Method of Preparing Coal Sample for Analysis*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.

ASTM D-3172, *Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.

ASTM D-3176, *Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.

ASTM D-388, *Standard Classification of Coals by Rank*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.

Arif, I., 2014, *Batubara Indonesia*, Gramedia: Jakarta ISBN 978-602-03-0291-1.

Chang, R., 2005, *Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 2*, Erlangga: Jakarta ISBN 22-00-025-3.

Chang, R., 2010, *Chemistry 10th Edition*, McGraw-Hill: New York ISBN 978-0-07-351109-2.

Darise, F., Djafar R., 2018, *Pengaruh Jumlah Aliran Udara Terhadap Nyala Api Efektif Dari Reaktor Gasifikasi Biomassa Tipe Fixed Bed Downdraft Menggunakan Bahan Bakar Tongkol Jagung*, Jurnal Technopreneur (JTech) 6(2) Hal. 94-100 ISSN 2546-558X.

Hardiana, M., Tenaya I.G.N.P., 2011, *Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Emisi Gas Buang Berbahan Bakar LPG Pada Ruang Bakar Model Helle-Shaw Cell*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M. Vol. 5 No. 1 April 2011 Hal. 39-45.

Kencanawati, C.I.P.K., 2012, *Diktat Kuliah: Kimia Dasar*, Universitas Udayana: Denpasar.

Miller, B.G., 2005, *Coal Energy System*, Elsevier: London ISBN 978-012-497-451-7.

Muchjidin, 2006, *Pengendalian Mutu Dalam Industri Batubara*, Institut Teknologi Bandung: Bandung ISBN 979-3507-75-6.

Petrucci, R.H., 2011, *General Chemistry*, Pearson Canada: Toronto ISBN 978-0-13-206452-1.

Speight, J.G., 2005, *Handbook of Coal Analysis*, Wiley-Inter science: New Jersey ISBN 0-471-52273-2.

Speight, J.G., 2013, *The Chemistry and Technology of Coal (Third Edition)*, CRC Press: United State of America ISBN 978-1-4398-3648-4

Sukandarrumidi, 2008, *Batubara dan Gambut*, Gajah Mada University Press: Yogyakarta ISBN 979-420-359-9.

Sukandarrumidi, 2009, *Batubara dan pemanfaatannya*, Gajah Mada University Press: Yogyakarta ISBN 979-420-619-9.

Samlawi, A.K., 2017, *Diktat Kuliah: Teknik Pembakaran*, Universitas Lambung Mangkurat: Banjarbaru.

Thomas, L., 2013, *Coal Geology (Second Edition)*, Wiley-Blackwell: United Kingdom ISBN 978-1-119-99044-4.

Widodo, A.Y., Lagiyono, Wibowo, A., 2014, *Penentuan Air Fuel Ratio (AFR) Aktual Pembakaran LPG Pada Celah Sempit Tipe Horizontal*, Universitas Pancasakti Tegal: Tegal ISSN 2549-9300.