

Pembakaran Bersama Biomassa dan Batu Bara: Pengaruh Rasio Biomassa-Batu Bara dan *Excess Air*

Heru Sutarto¹, Tito Gusti Nurrohim¹, Albert Xaverio Ilyas¹, Suyitno^{1*}

¹Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

e-mail address : suyitno@uns.ac.id

Keywords:

Biomassa, Batu bara,
Pembakaran Bersama,
Perbandingan Udara Bahan
Bakar.

Abstrak:

Pemanfaatan batu bara dan biomassa untuk menghasilkan panas dan daya semakin meningkat seiring dengan kebutuhan energi yang semakin tinggi. Cadangan batu bara Indonesia yang sebagian besarnya adalah batu bara kualitas rendah, menarik untuk diteliti bersamaan dengan pemanfaatan biomassa. Sehingga tujuan dari studi ini adalah melakukan investigasi pengaruh perbandingan udara bahan bakar suatu tungku pembakaran bersama antara biomassa dan batu bara. Penelitian dilakukan secara simulasi computer menggunakan perangkat lunak ASPEN PLUS. Hasil dari penelitian menunjukkan pemodelan termodinamika dengan ASPEN PLUS mampu menyimulasikan pembakaran bersama antara biomassa dan batu bara. Penambahan biomassa menurunkan temperatur gas pembakaran dari 900°C menjadi 400°C sehingga menurunkan kadar NO_x dan SO_x. Pengaruh *excess air* menurunkan temperatur pembakaran. Efisiensi tungku pembakaran bersama antara biomassa dan batu bara diatas 60% dan dipengaruhi oleh komposisi campuran.

1 PENDAHULUAN

Pembakaran atau oksidasi merupakan proses reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksidator yang menghasilkan panas yang diperlukan untuk kebutuhan sehari-hari. Reaksi kimia pada proses oksidasi umumnya adalah reaksi eksoterm. Proses pembakaran biomassa dan batu bara termasuk reaksi kimia yang kompleks dimana unsur-unsur pembentuk dari biomassa dan batu bara bereaksi dengan oksigen [1]. Dari analisis ultimate dan proximate, dapat diketahui bahwa kandungan dari unsur-unsur pembentuk batu bara dan biomassa sangatlah berbeda, sehingga juga mempunyai nilai kalor yang berbeda. Penelitian tentang pembakaran bersama antara batu bara dan biomassa menjadi topik menarik dari berbagai peneliti terbukti setiap tahun rata-rata terdapat publikasi sebanyak 1100 artikel pada google scholar.

Penelitian secara eksperimen telah dilakukan pada campuran biomassa batu bara yang mengandung 10%, 20%, dan 30% berat pelet biomassa. Peningkatan konten biomassa dalam campuran mampu menurunkan kadar NO

dan NO₂. Tidak ada korelasi yang jelas antara emisi partikel (PM) dan konten biomassa dalam campuran yang diamati [2]. Studi eksperimen tentang pembakaran bersama antara batu bara bituminous dengan kayu telah dilakukan sampai penambahan biomassa sebanyak 40%. Perubahan emisi gas buang tidak drastis dan penggunaan campuran biomassa sampai 40% dengan batu bara dapat menjadi alternatif sumber bahan bakar untuk *combustor* [3].

Selain penelitian eksperimen, terdapat juga penelitian menggunakan simulasi CFD ANSYS untuk pembakaran bersama antara batu bara dan biomassa [4]. Keuntungan nyata dari penambahan biomassa pada pembakaran batu bara adalah terdapatnya volatile dalam jumlah yang banyak yang mampu meningkatkan tingkat penyalaaan.

Sementara itu, kualitas pembakaran sangat dipengaruhi oleh jumlah udara dan jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Besaran ini diwakili dengan AFR (*air fuel ratio*). Untuk pembakaran sempurna memerlukan sejumlah udara yang cukup yang disebut dengan AFR stoikiometri, sehingga seluruh unsur bahan bakar

<https://dx.doi.org/10.20961/mekanika.v19i1.40039>

Submitted February 2020; Revised March 2020; Published March 2020

© Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika. All right reserved.

akan berubah menjadi gas CO₂ dan H₂O tanpa ada bahan bakar yang tersisa [5]. Udara berlebih seringkali juga diperlukan untuk menyempurnakan pembakaran. Dengan demikian, kualitas pembakaran dan kualitas gas hasil pembakaran sangat dipengaruhi oleh AFR. Sayangnya, masih terbatas penelitian yang membahas pengaruh AFR pada kualitas pembakaran dan kualitas gas hasil pembakaran campuran biomassa dan batu bara khususnya menggunakan pemodelan termodinamika.

Tujuan dari penelitian adalah validasi model termodinamika pembakaran bersama antara biomassa dan udara. Tujuan lainnya adalah melihat pengaruh *excess air* pada kualitas pembakaran dan kualitas gas buang hasil pembakaran.

2 METODOLOGI PENELITIAN

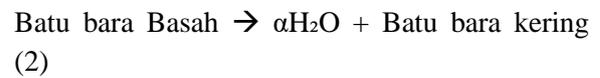
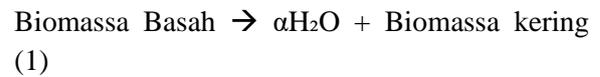
Bahan yang digunakan adalah biomassa dan batu bara dengan spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 1. Analisis proksimat dilakukan untuk mengetahui kadar air, volatile, karbon tetap, dan abu. Analisis ultimate dilakukan untuk mengetahui unsur penyusun batu bara dan biomassa seperti carbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, dan klorin. Kadar ultimat dan proksimat biomassa dan batu bara ini dalam pemodelan diimplementasikan ke dalam padatan *non conventional* (NC) [6]. Besarnya laju biomassa dan batu bara dijaga konstan sebesar 14 kg/h [7].

Tabel 1. Spesifikasi batu bara dan biomassa [7]

Bahan Baku	Proximate (%)				HHV (MJ/kg)
	Kadar Air	Volatil	Karbon Tetap	Abu	
Biomassa	8,4	65,5	13,7	12,4	13,2
Batu bara	12,7	47,8	27,4	12,1	20,9
Bahan Baku	Ultimate				
	Karbon	Hidrogen	Oksigen	Nitrogen	Sulfur
Biomassa	36,9	5,2	43,7	0,5	0,1
Batu bara	66,2	6,1	12,3	1,0	0,6

Untuk pemodelan pembakaran dapat dilakukan melalui tiga tahap. Tahap pertama adalah tahap pengeringan, dimana kadar air dalam biomassa maupun batu bara dikeluarkan. Pada pemodelan ASPEN, proses pengeringan menggunakan

reaktor stokiometri dengan mengikuti persamaan:



Dimana α adalah koefisien reaksi H₂O yaitu 0,0555084 dan besarnya panas reaksi adalah 43,9 kJ/mol.

Tahap kedua dari pembakaran adalah devolatilisasi, dimana unsur batu bara dan biomassa selain abu dikonversi menjadi gas. Pemodelan devolatilisasi menggunakan reactor RYield yang dilengkapi dengan kalkulator konversi. Penggunaan RYield untuk pemodelan devolatilisasi lebih sederhana dibandingkan dengan pemodelan devolatilisasi menggunakan reaksi kinetik [8-11]. Tahap ketiga adalah pembakaran gas yang dimodelkan di dalam reactor RGibbs. Pada studi sebelumnya, RGibbs mampu menyimulasikan pembakaran biogas dengan baik [12]. Selanjutnya, energi panas yang dihasilkan oleh RGibbs sebagiannya digunakan untuk memanaskan reactor pengeringan dan reactor pirolisis.

Pembakaran bersama antara biomassa dan batu bara dilakukan pada berbagai variasi laju biomassa dan batu bara dimana jumlah total bahan baku yang masuk sebesar 14 kg/jam. Sedangkan udara yang masuk divariasikan dari *excess air* 0%, 10%, 20%, dan 30%. Parameter yang diamati adalah perubahan temperatur gas buang, kadar gas-gas penyusun dalam gas buang, dan efisiensi pembakaran. Adapun efisiensi pembakaran dihitung dengan rumus:

$$\text{Efisiensi pembakaran} =$$

$$\frac{\text{laju gas hasil} \times \text{nilai kalor gas hasil}}{\text{laju bahan bakar masuk} \times \text{nilai kalor bahan bakar masuk}} \quad (3)$$

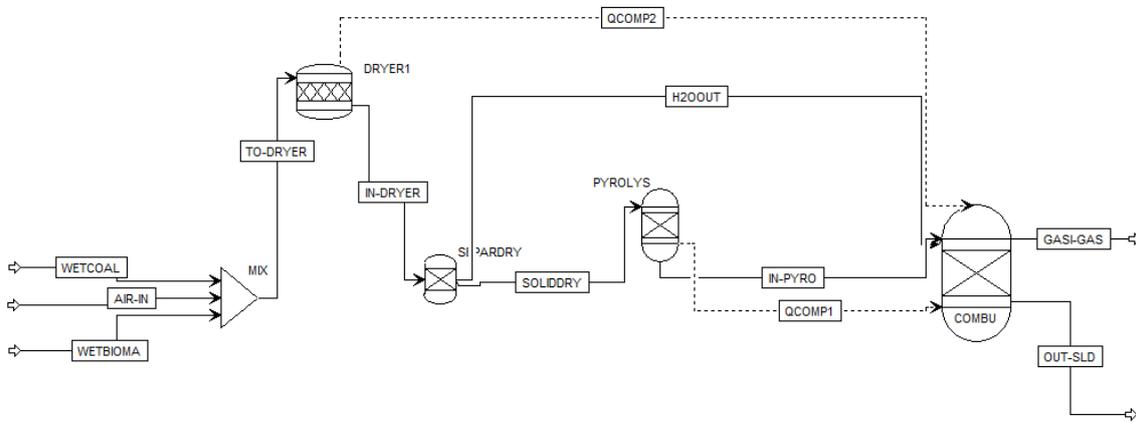
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Validasi Model

Simulasi model termodinamika pembakaran bersama antara biomassa dengan batu bara dilakukan menggunakan ASPEN PLUS. Model ini dilakukan validasi dengan hasil eksperimen

yang dilakukan oleh Unchaisri [7] pada pembakaran bersama dengan *circulating fluidized bed*. Hasil perbandingan antara simulasi

dan eksperimen difokuskan pada temperatur dan gas hasil pembakaran sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Skema pemodelan pembakaran bersama biomassa dan batu bara dalam ASPEN PLUS

Tabel 2. Validasi hasil simulasi dengan eksperimen

Parameter	Temperatur pembakaran	CO (ppm)	NOx (ppm)	SO ₂ (ppm)
Simulasi	687°C	3468	11.121	221
Eksperimen	650-690°C	3403	100	110

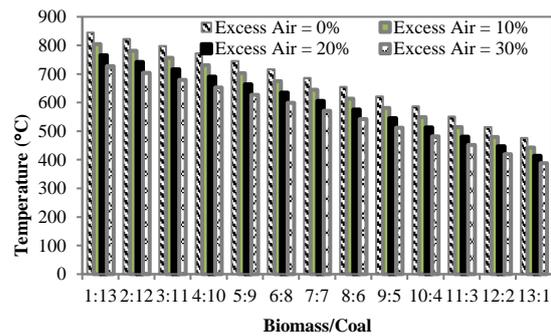
Terlihat bahwa model pembakaran bersama antara batu bara dan biomassa cukup valid yang ditandai dengan nilai berbagai parameter yang dekat dengan hasil eksperimen. Temperatur pemodelan sebesar 687°C berada dalam jangkauan temperatur hasil pembakaran sebesar 650-690°C. Konsentrasi CO antara hasil simulasi dengan hasil pembakaran juga cukup dekat nilainya. Pada NOx dan SO₂, hasil simulasi lebih tinggi dibandingkan dengan hasil dari eksperimen yang menunjukkan bahwa RGibbs cenderung menghasilkan kadar NOx dan SO₂ yang lebih tinggi karena temperatur yang dihasilkan juga cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan eksperimen.

3.2 Pengaruh Perbandingan Biomassa/Batu bara dan *Excess Air*

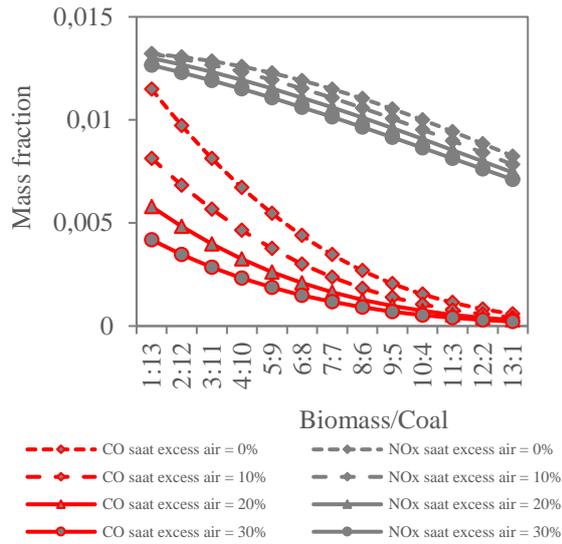
Temperatur gas hasil pembakaran sangat dipengaruhi oleh komposisi biomassa dan batu bara. Batu bara yang mempunyai kandungan karbon lebih tinggi dan juga mempunyai nilai kalor lebih tinggi menghasilkan gas dengan temperatur sampai mendekati 900°C. Hasil ini sejalan dengan penelitian eksperimental sebelumnya yang menyatakan bahwa temperatur tertinggi yang mampu dicapai pada pembakaran

temperatur penyalaan dan temperatur akhir gas pembakaran karena volatile lebih mudah menyala dan terbakar lebih cepat dibandingkan karbon [14].

Gambar 3, 4, dan 5 menunjukkan komposisi gas hasil pembakaran campuran biomassa dan batu bara. Seiring dengan bertambahnya biomassa dalam campuran menyebabkan kadar CO₂ menurun, kadar O₂ meningkat sedangkan kadar H₂O cenderung tetap. Penyebabnya adalah karena biomassa yang mempunyai kandungan oksigen lebih tinggi.



Gambar 2. Temperatur gas hasil pembakaran campuran biomassa dan batu bara.

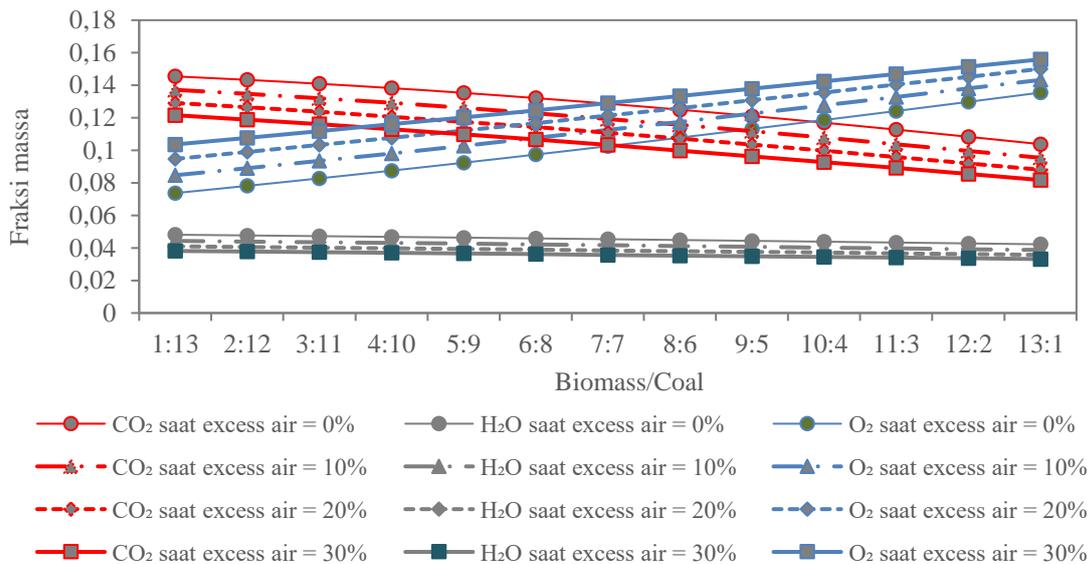


Gambar 3. Komposisi CO dan NOx dalam gas hasil pembakaran

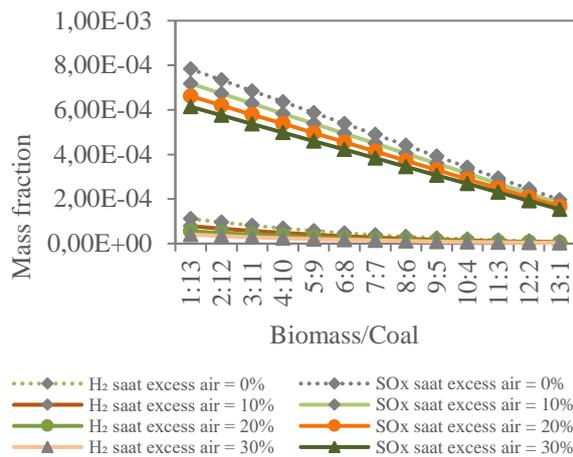
Komposisi gas CO, NOx, H₂, dan SOx cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya biomassa dalam campuran. Laju penurunan CO lebih besar dibandingkan dengan

laju penurunan NOx. Besarnya kadar CO dalam gas pembakaran adalah 0,7-1,3%. Pengaruh *excess air* mampu menurunkan kadar CO dalam gas buang. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya tentang kandungan CO dari gas pembakaran batu bara dan *Olive cake* [13].

Penambahan biomassa dalam campuran menurunkan kadar NOx sesuai dengan penelitian sebelumnya [2]. Sebagaimana diketahui bahwa NOx cenderung terbentuk pada reaksi pembakaran pada temperatur tinggi. Semakin tinggi temperatur dalam gas pembakaran, maka NOx akan meningkat [15]. Prediksi NOx lebih dari 7000 ppm hasil simulasi ini masih jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kenyataan sebesar 300 ppm. Model RGibbs untuk pembakaran, pada awalnya menghasilkan reaksi pembakaran dengan temperatur gas yang tinggi sehingga NOx yang dihasilkan terlalu tinggi. Pada sisi lain, dengan penambahan biomassa dan *excess air*, temperatur pembakaran menurun dan akan berakibat pada menurunnya kadar NOx dalam gas pembakaran.

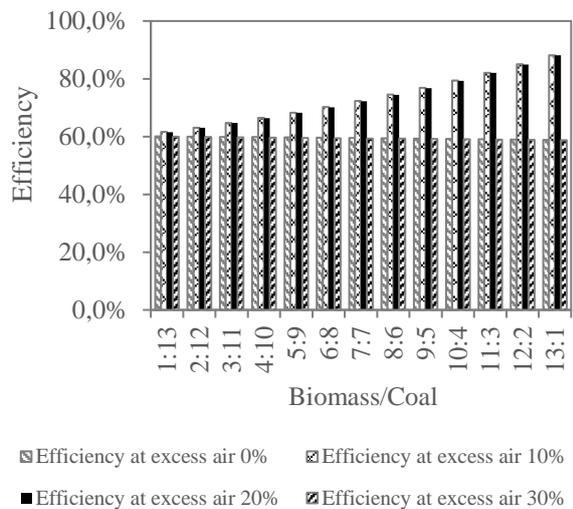


Gambar 4. Komposisi CO₂, H₂O, dan O₂ dalam gas hasil pembakaran



Gambar 5. Komposisi H₂ dan SO_x dalam gas hasil pembakaran

Kadar H₂ dan SO_x dalam gas pembakaran sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5, konsentrasinya kecil. Menurunnya kadar SO_x seiring dengan penambahan biomassa karena kadar sulfur dalam biomassa yang lebih rendah dibandingkan dengan kadar sulfur dalam batu bara. Salah satu ciri dari gas pembakaran batu bara adalah adanya SO₂. Sulfur dalam batu bara utamanya berada dalam fasa *pyrite*, *thiopene*, dan *thiols* dan hampir semua sulfur tersebut diubah menjadi SO₂ (g) pada kondisi pembakaran miskin [16]. Hasil simulasi ini sejalan juga dengan studi sebelumnya yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur menyebabkan SO₂ mengalami peningkatan [16].



Gambar 6. Efisiensi pembakaran

Gambar 6 menunjukkan efisiensi pembakaran bersama biomassa dan batu bara. Secara umum, efisiensi pembakaran di atas 60%. Semakin besar penambahan biomassa mampu meningkatkan efisiensi pembakaran pada *excess air* 10 dan 20%, sedangkan pada *excess air* 0 dan 30%, penambahan biomassa tidak berpengaruh pada efisiensi pembakaran. Penambahan biomassa, walaupun menurunkan temperatur pembakaran yang berarti turun juga jumlah energi yang dihasilkan, tetapi karena dibagi dengan energi input yang sedikit lebih rendah menyebabkan efisiensi pembakaran total meningkat. Pada *excess air* 30%, sejumlah energi yang dihasilkan juga digunakan untuk pemanasan udara yang tidak ikut terbakar. Dalam hal ini, nitrogen dan oksigen yang tidak ikut bereaksi mengambil energi dan dibuang bersama gas buang.

KESIMPULAN

Pemodelan pembakaran bersama antara biomassa dan batu bara telah berhasil dilakukan dengan menggunakan ASPEN PLUS dan hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil dari eksperimen. Komposisi biomassa dan batu bara sangat berpengaruh pada temperatur gas, komposisi gas, dan efisiensi pembakaran. Rasio biomassa/udara yang semakin besar menyebabkan temperatur menurun dan efisiensi yang meningkat. Temperatur gas pembakaran yang tinggi menyebabkan kadar NO, CO₂ dan SO₂ mengalami peningkatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada UNS atas fasilitasi pendanaan riset PNBPN UNS tahun 2020.

REFERENSI

- [1] C. P. Mahandari, "Fenomena flame lift-up pada pembakaran premixed gas propana," Universitas Indonesia. Fakultas Teknik, 2010.
- [2] N. Maciejóńczyk, G. Pełka, W. Luboń, and D. Malik, "Analysis of the Flue Gas Produced During the Coal and Biomass Co-combustion in

- a Solid Fuel Boiler," Cham, pp. 239-246: Springer International Publishing, 2020.
- [3] T. L. Yelverton *et al.*, "Characterization of emissions from a pilot-scale combustor operating on coal blended with woody biomass," vol. 264, p. 116774, 2020.
- [4] M. Issac, A. De Girolamo, B. Dai, T. Hosseini, and L. J. J. o. t. E. I. Zhang, "Influence of biomass blends on the particle temperature and burnout characteristics during oxy-fuel co-combustion of coal," *Journal of the Energy Institute*, vol. 93, no. 1, pp. 1-14, 2020.
- [5] I. G. Wiratmaja, "Analisa Unjuk Kerja Motor Bensin Akibat Pemakaian Biogasoline," *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 2010.
- [6] A. Khuriati, P. Purwanto, H. S. Huboyo, S. Suryono, and A. B. Putro, "Application of aspen plus for municipal solid waste plasma gasification simulation: case study of Jatibarang Landfill in Semarang Indonesia," in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1025, no. 1, p. 012006: IOP Publishing, 2018.
- [7] T. Unchaisri, S. Fukuda, A. Phongphipat, S. Saetia, and B. J. I. E. J. Sajjakulnukit, "Experimental Study on Combustion Characteristics in a CFB during Co-firing of Coal with Biomass Pellets in Thailand," vol. 19, no. 2, 2019.
- [8] X. Zhang, M. Xu, R. Sun, and L. Sun, "Study on biomass pyrolysis kinetics," 2006.
- [9] S. Suyitno and F. Lettner, "CFD-Modelling of External Heated Pyrolysis of Wood Chips," in *14th European Conference & Exhibition: Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 2005.
- [10] S. Suyitno, F. Lettner, H. L. Timmerer, and P. Haselbacher, "Devolatilisation in Biomass Pyrolysis: Influence of solid size, Moisture content, and Heat Radiation," in *International Energy Conference*, 2005.
- [11] R. Radmanesh, Y. Courbariaux, J. Chaouki, and C. J. F. Guy, "A unified lumped approach in kinetic modeling of biomass pyrolysis," vol. 85, no. 9, pp. 1211-1220, 2006.
- [12] Z. Arifin and S. Pranolo, "The Effect of Biogas Pressure in the Performance and Emission of Spark Ignition Engine," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 694, no. 1, p. 012022: IOP Publishing, 2019.
- [13] A. T. Atimtay and M. J. F. Varol, "Investigation of co-combustion of coal and olive cake in a bubbling fluidized bed with secondary air injection," vol. 88, no. 6, pp. 1000-1008, 2009.
- [14] C. Chen, Q. N. Chan, P. R. Medwell, and G. Heng Yeoh, "Co-Combustion Characteristics and Kinetics of Microalgae *Chlorella Vulgaris* and Coal through TGA," *Combustion Science and Technology*, vol. 192, no. 1, pp. 26-45, 2020.
- [15] Z. Xue, Z. Zhong, and X. Lai, "Investigation on gaseous pollutants emissions during co-combustion of coal and wheat straw in a fluidized bed combustor," *Chemosphere*, vol. 240, p. 124853, 2020.
- [16] F. Kazanc, R. Khatami, P. Manoel Crnkovic, Y. A. J. E. Levendis, and fuels, "Emissions of NO_x and SO₂ from Coals of Various Ranks, Bagasse, and Coal-Bagasse Blends Burning in O₂/N₂ and O₂/CO₂ Environments," vol. 25, no. 7, pp. 2850-2861, 2011.