

ANALISA PENGARUH RASIO SERAT DAN CANGKANG DENGAN UDARA BERLEBIH TERHADAP EMISI PROSES PEMBAKARAN PADA *BOILER* PABRIK KELAPA SAWIT

Novi Sylvia^{1,2}, Husni Husin¹, Abrar Muslim¹ dan Yunardi^{1*}

¹Program Doktor Ilmu Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111, Indonesia

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe 24351, Indonesia

*yunardi@unsyiah.ac.id

ABSTRAK

Pertumbuhan industri sawit yang tinggi dalam dua decade terakhir menempatkan Indonesia sebagai produsen minyak sawit terbesar dunia. Industri sawit selain menghasilkan minyak nabati, juga menghasilkan limbah padat antara lain serat dan cangkang. Sebagian dari limbah padat ini dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar di boiler untuk menghasilkan uap yang dimanfaatkan untuk pemrosesan dan menghasilkan energi listrik. Paper ini melaporkan hasil kajian simulasi pengaruh rasio serat dan cangkang pada berbagai kondisi udara berlebih terhadap emisi gas hasil pembakaran yang dihasilkan. Penelitian ini menjadi penting mengingat pabrik minyak kelapa sawit ditengarai sebagai salah satu penghasil gas rumah kaca (GRK) dan pemerintah melalui Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 tahun 2010 bertekad mengurangi emisi GRK. Perangkat lunak ASPEN Plus (Versi 8.8) digunakan untuk memvariasikan rasio serat : cangkang berkisar 100:0; 30:70; 70:30; 50:50 dan 0:100 dengan udara berlebih 90, %, 120% dan 150% di atas kebutuhan stoikiometri. Bahan bakar dialirkan dengan laju tunak ke dalam proses sebesar 2700 kg/jam. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kualitas emisi terbaik dihasilkan ketika rasio serat dan cangkang = 0 : 100 dengan udara berlebih sebesar 90%. Pada kondisi seperti ini, gas CO₂ yang dihasilkan sebesar 719 kg/jam, NO 0,032 kg/jam dan laju abu sebesar 94 kg/jam. Heating value tertinggi juga diperoleh pada rasio serat dan cangkang = 0 : 100. Hasil ini menunjukkan bahwa kehadiran serat di dalam bahan bakar memberikan kontribusi negatif terhadap emisi. Kajian lebih mendalam masih diperlukan untuk meminimalisir limbah padat serat ini untuk digunakan sebagai sumber bahan bakar.

Kata kunci : Boiler, serat, cangkang, udara berlebih dan emisi

ABSTRACT

The increasing growth of the domestic palm oil industry in the last two decades has placed Indonesia as the world's largest palm oil producer. In addition to producing edible oil, the palm oil industry also produces solid waste such as fiber and shells. A part of these solid wastes is used as a fuel source in boilers to produce steam utilized for oil processing and electrical energy production. This paper reports the results of a simulation study of the effect of fiber and shell ratios under various excess air conditions on the exhaust gas emissions. This research becomes important considering that palm oil mills have been suspected as one of the greenhouse gases producer (GHG) and the Government of Indonesia through the Minister of Environment Regulation No. 12 of 2010 is determined to reduce GHG emissions. ASPEN Plus software (Version 8.8) has been used in this study to alter the ratio of fiber: shells as 100: 0; 30:70; 70:30; 50:50 and 0: 100 with excess air of 90%, 120% and 150% above stoichiometric requirements. The fuel was fed at a steady rate of 2700 kg/hr. Simulation results show that exhaust gas emission was better produced

when the ratio of fiber and shell was at 0: 100 with an udara berlebih of 90%. Under these conditions, CO₂ gas produced was 719 kg/hr, NO 0.032 kg/ hr and ash rate was 94 kg/hour. The highest heating value was also obtained at the ratio of fiber and shell of 0: 100. These results indicate that the presence of fiber in the fuel contributes negatively to exhaust emissions. More in-depth studies are still needed to minimize this fiber-solid waste through the use as fuel source.

Keyword: Boiler, fiber, shell, excess air and emission

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia. Dalam proses pengolahan, pabrik kelapa sawit menjadi minyak maka sudah pasti akan meninggalkan residu yang dikenal dengan limbah sawit. Salah satu limbah padat dari pabrik sawit berupa cangkang dan serat kelapa sawit. Beberapa pabrik mengolahnya untuk dijadikan bahan material (triplek) maupun digunakan sebagai kompos. Namun beberapa pabrik juga memanfaatkan cangkang dan serat ini sebagai bahan bakar boiler sehingga dapat membangkitkan *steam* [1]. Pada pembakaran cangkang dan serat menghasilkan asap yang diperkirakan memiliki emisi yang cukup besar melebihi ambang batas Standar Nasional Indonesia. Dalam beberapa tahun terakhir, minyak sawit telah menjadi salah satu topik yang paling dibicarakan di dunia. Perkebunan kelapa sawit telah dituduh menyebabkan masalah lingkungan seperti emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang merupakan penyumbang utama pemanasan global dan perubahan iklim [2]. Karbon dioksida dan gas metana adalah penyebab utama gas rumah kaca. Para pemangku kepentingan mengharapkan perusahaan untuk memonitor sumber gas rumah kaca dan menerapkan langkah-langkah untuk mengurangi

emisi tersebut, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengurangi GRK yang dihasilkan dalam pembakaran biomassa ini [3,4]. Kegiatan ini merupakan salah satu langkah yang sesuai dalam aksi penurunan GRK yang kemudian menjadi pendukung dalam upaya penurunan gas rumah kaca yang ditetapkan oleh Presiden Indonesia dalam Perpres tahun 2010 [5].

Pembakaran biomassa pada boiler merupakan reaksi antara oksigen dan bahan bakar berupa cangkang dan serat yang menghasilkan panas. Oksigen diambil dari udara yang berkomposisi 21% oksigen, nitrogen 79% (persentase volume) atau 77% oksigen serta 23% nitrogen (persentase massa). Unsur terbanyak yang terkandung dalam bahan bakar biomassa adalah karbon, hidrogen dan sedikit sulfur. Komposisi biomassa cangkang dan serat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi cangkang dan serat yang digunakan

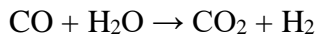
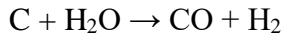
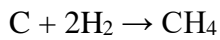
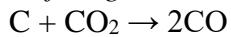
	serat	cangkang
Proxonal analysis (wt%)	Moisture: 31.84	Moisture: 12
	Fixed carbon: 48.61	Fixed carbon: 68.2
	Volatile matters: 13.2	Volatile matters: 16.3
	Ash: 6.35	Ash: 3.5
Ultanal analysis (wt%)	Ash: 8.4	Ash: 3.2
	Carbon: 47.2	Carbon: 52.4
	Hydrogen: 6	Hydrogen: 6.3
	Nitrogen: 1.4	Nitrogen: 0.6
	Chlorine: 0	Chlorine: 0
	Sulfur: 0.3	Sulfur: 0.2
	Oxygen: 36.7	Oxygen: 37.3

Sumber: [6]

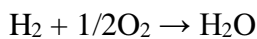
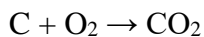
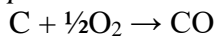
Pembakaran biomassa pada umumnya terdiri dari 2 tahap yaitu:

a. Gasifikasi: biomassa + oksigen

→ *fuel gas*



b. Pembakaran: biomassa + oksigen stoikiometri → *hot combustion product*



Sumber: [7]

Emisi yang dihasilkan selama pembakaran serat dan cangkang sangat dipengaruhi oleh rasio serat dan cangkang juga udara berlebih. Leong [8] telah menyarankan rasio serat/cangkang 60:40 dan 70:30 dengan rasio bahan bakar dan udara optimal 12/1 hingga 16/1 masing-masing. Rasio bahan bakar udara 12/1 sesuai dengan persentase udara berlebih (EA) > 120%, sedangkan 16/1 sesuai dengan persentase EA > 150%. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi asap hitam namun juga akan mengurangi efisiensi dari boiler. Penelitian yang dilakukan oleh Harimi dkk [9] mengoptimalkan persentase udara berlebih dengan rasio serat dan cangkang terhadap efisiensi boiler. Hasilnya menunjukkan bahwa rasio serat dan cangkang 0: 100, 20:80, 40:60, 50:50, 60:40, 80:20, dan 100: 0 dengan persentase udara berlebih yang sesuai dari masing-masing adalah 85, 82, 78, 76, 74, 69, dan 63%.

Penelitian yang dilakukan oleh Othaman dkk [10] pembakaran dilakukan dengan variasi EA : 20%, 40%, 60% dan 80% untuk laju bahan

bakar berupa tandan kosong sawit konstan 30 kg/jam terhadap tiga emisi gas utama yakni gas utama yaitu CO, CO₂ dan NO_x. Dari hasil, ditemukan bahwa emisi CO menurun dari 64 ppm menjadi 40 ppm sementara jumlah CO₂ sedikit meningkat dengan meningkatnya udara berlebih dari 20% hingga 80%. Emisi NO_x juga meningkat dari 290 ppm menjadi 350 ppm karena N₂ pada EA bereaksi dengan O₂ disebabkan suhu pembakaran yang tinggi. Efisiensi pembakaran dicapai 99%. Berdasarkan penelitian tersebut maka penelitian ini melakukan kajian simulasi terhadap. Penelitian yang telah dilakukan tersebut dilakukan secara eksperimental. Untuk itu penelitian ini dilakukan secara simulasi dengan mengkaji pengaruh rasio serat dan cangkang pada berbagai kondisi udara berlebih terhadap emisi gas hasil pembakaran yang dihasilkan.

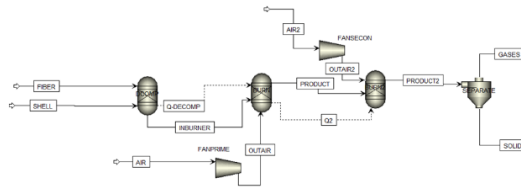
METODE PENELITIAN

Proses dalam penelitian ini dilakukan dengan pemodelan terdiri atas dua bagian yaitu:

1. Properties menggunakan Aspen Plus

2. Simulation menggunakan Aspen Plus

Software yang digunakan adalah perangkat lunak Aspen Plus V8.8. Proses simulasi untuk penelitian dimulai dari tahapan properties dengan memasukkan data seperti yang tertera pada Tabel 1 berupa pengisian komponen yang dipilih dan yang digunakan serta method yang digunakan yaitu ideal.



Gambar 1. Pemodelan simulasi

Tahapan berikutnya yaitu tahap simulation. Tahapan ini berupa proses penggambaran flowsheet untuk proses secara keseluruhan meliputi proses biomassa dekomposisi, reaksi volatil, *char gasification*, dan *gas-solid separation*. Fase-fase tersebut terjadi dalam beberapa blok reaktor yang digunakan untuk simulasi, yaitu antara lain blok R. Yield, R. Gibbs, R. Stoi dan separasi [11]. Simulation flow-sheet yang digambarkan menggunakan perangkat lunak Aspen Plus V8.8, dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya dilakukan input data kondisi operasi alat dan kondisi bahan baku yang digunakan untuk proses simulasi yang ditunjukkan Tabel 2 dan 3. Proses Biomassa decomposition diwakili Ryield (Reactor Yield), dan digunakan sebagai reaktor non stoikiometrik berdasarkan distribusi hasil yang diketahui. R. Yield dapat melakukan perhitungan neraca massa dan energi berdasarkan nilai yield yang diberikan. Dan reaktor ini juga dapat mensimulasikan laju yang masuk tanpa diketahui secara pasti, tetapi diketahui komponen hasilnya. Serta dapat menspesifikasikan produk yield, dimana reaktor ini tidak memerlukan molar balance, atom balance, dan stoikiometri. Volatile reactions terjadi pada Reaktor Burn I (Reactor Gibbs, RGibbs) digunakan untuk reaksi dan kesetimbangan multifasa berdasarkan minimalisasi energi bebas Gibbs. R. Gibbs, tidak memerlukan jenis reaksi yang terjadi,

dan menspesifikasikan stoikiometri. Biasanya reaktor ini digunakan untuk mengeksplorasi kemungkinan termodinamika yang terjadi di dalam reaktor tersebut. Pada reaktor ini bisa memilih kesetimbangan yang diperhitungkan, reaktor ini juga dapat mempertimbangkan kesetimbangan fase dan kimia secara simultan dengan menentukan energi bebas gibbs dan phase splitting. Sebagai hasil dari reaksi terjadi antara bahan bakar dan udara, berupa gas buang yang terdiri dari karbon, hidrogen, oksigen, karbon monoksida, karbon dioksida, uap air, nitrogen, belerang, nitrogen dioksida, nitrogen trioksida, dan belerang dioksida. *Char gasification* merupakan reaksi yang terjadi pada reaktor stoikiometri R. Stoi, hal ini dilakukan untuk kesempurnaan reaksi. Tahap akhir dari proses dilakukan *gas-solid separation* pada separate [12].

Selanjutnya dilakukan proses run simulation tersebut sehingga dapat dilihat hasilnya pada result summary.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh rasio serat dan cangkang dengan udara berlebih terhadap total *heat value*

Total *heat value* tertinggi terdapat pada perbandingan bahan bakar serat dan cangkang (0:100) yaitu -5.5045 Gcal/jam sedangkan total *heat value* paling rendah terdapat pada perbandingan serat dan cangkang (30:70) yaitu -2.6458 Gcal/jam yang ditunjukkan Tabel. 2. Pembakaran terjadi pada boiler secara eksoterm dapat dilihat pada hasil *heat value* yang diperoleh bernilai negatif ini menandakan bahwa pembakaran serat dan cangkang nilai bakarnya berpindah dari sistem ke lingkungan.

Total energi paling besar terdapat pada perbandingan bahan bakar (serat dan cangkang) sebesar 0:100, hal ini dikarenakan perbandingan umpan masuk dari bahan bakar 100% cangkang dengan kandungan *fixed carbon* yang tinggi. Untuk memastikan pembakaran sempurna, penting untuk mensuplai udara berlebih. Pada proses pembakaran total *heat value* dari hasil pembakaran sangat mempengaruhi dari seberapa sempurna proses reaksi pembakaran tersebut berlangsung. Kesempurnaan pembakaran tersebut dipengaruhi beberapa faktor diantaranya udara berlebih (udara berlebih) dan perbandingan umpan yang masuk. Begitu juga dengan laju partikel ash yang dihasilkan.

Pengaruh rasio serat dan cangkang dengan udara berlebih terhadap total terhadap laju partikel abu

Pada proses pembakaran akan terbentuk juga abu dari hasil pembakaran dan akan mengakibatkan polusi lingkungan serta mengakibatkan efek dari rumah kaca. Laju partikel abu dari hasil pembakaran tersebut disebabkan karena kandungan air dari bahan bakar serat dan cangkang. Tabel 2 juga menunjukkan bahwa laju partikel abu yang terbentuk dari hasil simulasi tidak terjadi perubahan secara signifikan, hal ini disebabkan karena kandungan air pada bahan bakar tetap dan temperatur operasi yang untuk proses pembakaran serat dan cangkang tetap. Laju partikel ash ini juga dipengaruhi dan sifat serat dan cangkang tersebut. Serat lebih mudah terbakar sehingga

menghasilkan abu biomassa yang tinggi namun menghasilkan *heat value* yang rendah sedangkan cangkang sukar terbakar sehingga abu biomassa sedikit tetapi *heat value* yang dihasilkan tinggi. Jika umpan boiler berupa cangkang 100% maka menghasilkan abu yang rendah jika dibandingkan dengan campuran cangkang dan serat.

Tabel 2. Total *heat value* dan laju partikel abu terhadap hasil perbandingan kelebihan udara dan perbandingan serat dan cangkang

Perbandingan		Total <i>heat value</i>	Laju partikel abu
Udara (% massa)	Serat dan cangkang (% massa)	(Gcal/jam)	(kg/jam)
	(100 : 0)%	-3.8471	192.947
	(0 : 100)%	-4.3033	94.8997
(90%, 120% dan 150%)	(70 : 30)%	-3.3322	192.947
	(30 : 70)%	-2.6458	192.947
	(50 : 50)%	-2.9890	192.947

Pengaruh rasio serat dan cangkang dengan udara berlebih terhadap total terhadap emisi pembakaran CO

Pencampuran bahan bakar dengan zat pengoksidasi (gas oksigen dan gas nitrogen) tidak akan bercampur secara sempurna dikarenakan tidak berkontakannya secara sempurna antara bahan bakar dengan zat pengoksidasi (oksigen dan nitrogen). Maka dari itu di perlukannya udara berlebih dan perbandingan serat dan cangkang untuk memperbesar kontak dengan zat pengoksidasi (oksigen dan nitrogen) sehingga akan lebih

menyempurnakan proses pembakaran [13].

Hasil simulasi total emisi proses pembakaran pada boiler PKS dengan rasio serat dan cangkang dengan udara berlebih 90%, 120% dan 150% terhadap emisi ditunjukkan pada Tabel 3, 4 dan 5. Emisi pembakaran untuk senyawa CO lebih banyak pada rasio serat dan cangkang (0:100) dan udara berlebih 90% yaitu dengan emisi sebanyak 3166.257 kg/jam ini disebabkan karena senyawa CO banyak mengikat oksigen dari lingkungan sehingga menyebabkan terjadinya reaksi antara senyawa pembakaran dengan oksigen dari lingkungan. Hasil emisi pembakaran CO terendah berada pada rasio serat dan cangkang (30:70) sebesar 1359.531kg/jam ini dengan udara berlebih sebesar 150%, disebabkan karena kandungan CO di dalam umpan sedikit sehingga tidak teralu banyak bereaksi dengan oksigen di lingkungan serta rasio umpan yang masuk saat terjadi pembakaran dengan udara berlebih semakin meningkat sehingga menyebabkan pembakaran terjadi secara sempurna dan kandungan CO habis terbakar di dalam boiler.

Emisi pembakaran CO₂

Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu polutan udara. Karbon dioksida (CO₂) yang berlebih akan mengganggu *atmosfer* bumi sehingga menyebabkan *global warming*. Dari Tabel 3, 4 dan 5 menunjukkan bahwa emisi pembakaran CO₂ tertinggi berada pada rasio serat dan cangkang (30:70) yaitu sebesar 1836.483 kg/jam dengan udara berlebih sebesar 150%. Udara berlebih tinggi

menyebabkan senyawa CO₂ bereaksi dengan unsur oksigen di luar lingkungan [14] sedangkan untuk emisi pembakaran CO₂ terendah berada pada rasio serat dan cangkang (0:100) yaitu sebesar 719.148 kg/jam dengan udara berlebih sebesar 90% Sehingga tingginya tingkat CO₂ disertai dengan tingkat CO yang rendah pada tahap akhir pembakaran, di mana suhu operasi maksimal. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa persentase CO₂ yang tinggi dapat dicapai pada suhu maksimum dan proses pembakaran yang paling optimum .

Emisi pembakaran NO_x

Adapun emisi pembakaran NO_x pada pembakaran serat dan cangkang yang ditunjukkan Tabel 3, 4 dan 5 menjelaskan bahwa emisi pembakaran NO_x terbesar berada pada rasio serat dan cangkang (30:70) sebesar 1.914 kg/jam dengan udara berlebih 150% sedangkan untuk emisi pembakaran NO_x terendah berada pada perbandingan serat dan cangkang (0:100) yaitu sebesar 0.032 kg/jam dengan udara berlebih 90%. Udara berlebih merupakan parameter yang berpengaruh dalam mengkonversi kandungan nitrogen dalam bahan bakar menjadi N₂, sehingga mengurangi tingkat NO_x [15].

Emisi pembakaran SO_x

Adapun emisi pembakaran SO_x terbesar yaitu sebesar 13.678 kg/jam dengan udara berlebih 150% pada rasio serat dan cangkang (30:70). Sedangkan untuk emisi pembakaran SO_x terendah berada pada rasio serat dan cangkang (0:100) dengan

perbandingan udara berlebih 90% yakni 9.87 kg/jam.

Tabel 3. Total emisi pembakaran dengan kelebihan udara 90% terhadap perbandingan serat dan cangkang

Perbandingan		Total Emisi Pembakaran (kg/jam)					
Udara (% massa)	serat dan cangkang (% massa)	CO	CO ₂	NO	NO ₂	SO ₂	SO ₃
90%	(100 : 0)%	1831.03	1095.66	0.063	0	13.38	0
	(0 : 100)%	3166.25	719.14	0.032	0	9.87	0
	(70 : 30)%	1787.45	1164.13	0.101	0	13.43	0
	(30 : 70)%	1724.90	1262.40	0.184	0	13.49	0
	(50 : 50)%	1756.82	1212.25	0.137	0	13.46	0

Tabel 4. Total emisi pembakaran dengan kelebihan udara 120% terhadap perbandingan serat dan cangkang

Perbandingan		Total Emisi Pembakaran (kg/jam)					
Udara (% massa)	serat dan cangkang (% massa)	CO	CO ₂	NO	NO ₂	SO ₂	SO ₃
120%	(100 : 0)%	1704.02	1295.21	0.22	0	13.513	0
	(0 : 100)%	3026.78	938.28	0.12	0	10.631	0
	(70 : 30)%	1643.96	1389.58	0.35	0	13.554	0
	(30 : 70)%	1557.45	1525.50	0.64	0	13.605	0
	(50 : 50)%	1601.63	1456.08	0.47	0	13.582	0

Tabel 5. Total emisi pembakaran dengan kelebihan udara 150% terhadap perbandingan serat dan

Perbandingan		Total Emisi Pembakaran (kg/jam)					
Udara (% massa)	Serat dan cangkang (% massa)	CO	CO ₂	NO	NO ₂	SO ₂	SO ₃
150%	(100 : 0)%	1554.32	1530.42	0.65	0	13.60	0
	(0 : 100)%	2856.13	1192.27	0.40	0	11.10	0
	(70 : 30)%	1474.46	1655.89	1.05	0	13.64	0
	(30 : 70)%	1359.53	1836.48	1.91	0	13.67	0
	(50 : 50)%	1418.19	1744.30	1.42	0	13.66	0

cangkang

Hal ini disebabkan karena rasio dari umpan serat dan cangkang yang berbeda tidak dalam kondisi 100% serat atau 100% cangkang dan juga dipengaruhi udara berlebih yang digunakan sehingga emisi pembakaran SO_x yang terbentuk semakin kecil didapatkan.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Kualitas emisi terbaik dihasilkan ketika rasio serat dan cangkang = 0 : 100 dengan udara berlebih sebesar 90%. Gas CO₂ yang dihasilkan sebesar 719 kg/jam, NO 0,032 kg/jam dan laju abu sebesar 94 kg/jam.
2. Heating value tertinggi juga diperoleh pada rasio serat dan cangkang = 0 : 100.
3. Kehadiran serat di dalam bahan bakar memberikan kontribusi negatif terhadap emisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.A Nasutiona, T. Herawana, and M. Rivania, "Analysis of Palm Biomass as Electricity from Palm Oil Mills in North Sumatera," *Energy Procedia.*, vol. 47, pp.166 – 172, 2014.
- [2] N. Puji, I. A. Dan Aryo Sasmita, "Studi carbon footprint dari kegiatan industri pabrik kelapa sawit," *jom Fakultas Teknik.*, vol. 4(April) pp. 1–5, 2017.
- [3] Y.C. Kun, and A.M.H. Abdullah, "Simulation of total dust emission from palm oil mills in Malaysia using biomass fuel composition and dust collector efficiency models," *International Journal of Energy and Environmental Engineering.*, vol. 4(1), pp. 1–13, 2013.
- [4] A.R. Yusoff and I.A. Aziz, "Predicting Boiler Emission By Using Artificial Neural Networks," *Jurnal Teknologi*, vol. 50(1), pp. 15–28, 2009.

- [5] K. Saswattecha, C. Kroeze, W. Jawjit, and L. Hein, "Options to reduce environmental impacts of palm oil production in Thailand," *Journal of Cleaner Production*, vol. 137, pp. 370–393, 2016.
- [6] M.H. Shah Ismail, H. Zahra, and S. Mohammad Amin, "Process simulation optimization of palm oil waste combustion using Aspen Plus," *Research Journal in Engineering and Applied Sciences*, vol.1(5), pp. 266-273, 2012.
- [7] A. Samson Mekbib, S. Shaharin Anwar, and Y. Suzana, "A simulation study of down draft gasification of oil-palm fronds using Aspen Plus," *Journal of Applied Science*, vol. 11, pp. 1913-1920, 2011.
- [8] W. L Leong, "Control of black smoke and particulates emission for palm oil mill boilers", *Proc Nat Workshop on Recent Developments in Palm Oil Milling Technology Pollution Control (PORIM, Kuala Lumpur)* 1986.
- [9] M. Harimi, M. M. Hamdan, S. M. Sapuan and Azni Idris, "Numerical optimisation of udara berlebih with respect to fibre-to-shell ratio during incineration process", *International Energy Journal*, vol. 7, No. 2, pp. 125-136, 2006.
- [10] M. F. Othaman, S. Sabudin, and M. F. M. Batcha, "Emission studies from combustion of empty fruit bunch pellets in a fluidized bed combustor," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 226, no. 1, 2017.
- [11] D. Che, S. Li, W. Yang, J. Jia, and N. Zheng, "Application of Numerical Simulation on Biomass Gasification," *Energy Procedia*, vol. 17, pp. 49–54, 2012.
- [12] J. Li, X. Zhang, W. Yang, and W. Blasiak, "Effects of Flue Gas Internal Recirculation on NO_x and SO_x Emissions in a Co-Firing Boiler," *Int. J. Clean coal Energy*, vol. 2, no. May, pp. 13–21, 2013.
- [13] M.C. Acar, E. Yakup and Böke, "Simulation of Biomass Gasification Process Using Aspen Plus," in *14th International Combustion Symposium, INCOS*, pp. 134- 137, 2018.
- [14] W. Doherty, A. Reynolds, D. Kennedy, "The effect of air preheating in a biomass CFB gasifier using ASPEN Plus simulation," *Biomassa and Bioenergy*, vol.33, pp.1158-1167, 2009.
- [15] E. Houshfar, S. Øyvind, L. Terese, D. Todorovi, and L. Sørum, "Effect of Excess Air Ratio and Temperature on NO_x Emission from Grate Combustion of Biomass in the Staged Air Combustion Scenario," *Energy Fuels*, vo. 25, pp. 4643–4654, 2