

STUDI PERBANDINGAN SIMULASI PROSES PEMBAKARAN BATUBARA DAN VINASSE METODE *NON-PREMIX COMBUSTION MODEL*

Bayu Triwibowo^{1*}, Abdul Halim², Annie Mufyda Rahmatika³

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, Indonesia 50229

²Jurusan Teknologi Pulp dan Kertas, Institut Teknologi dan Sains Bandung

Jl. Ganesha Boulevard Kota Deltamas, Cikarang Pusat, Bekasi

³Diploma Agroindustri, Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55281

* E-mail : bayu.k46@gmail.com

Abstrak-*Vinasse merupakan limbah dari industri gula dengan debit yang sangat besar sehingga harus diolah dengan berbagai metode. Salah satu alternatif metode yang dapat digunakan adalah pembakaran. Pembakaran merupakan reaksi kimia yang memproduksi panas dan dapat digunakan sebagai suplai energi untuk proses selanjutnya. Berdasarkan analisis proksimat dan ultimat, vinasse memiliki karakteristik yang hampir sama dengan batubara setelah mengalami proses evaporasi. Penelitian ini mempelajari perbandingan dari karakteristik pembakaran antara batubara dan vinasse sebagai bahan bakar yang dilihat dari aspek distribusi temperatur, distribusi spesies, dan vektor kecepatan. Proses pembakaran dijalankan dengan metode computational fluid dynamics (CFD) khususnya model pembakaran non-premix. Geometri dari ruang bakar yang digunakan adalah 84 x 5,2 m dengan kualitas ortogonal mesh yang digunakan mendekati 1 dan bentuk cell segiempat 100 persen. Simulasi pembakaran dijalankan dengan geometri 2D (dua dimensi) dengan udara sebagai oksidator. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa vinasse memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif karena lebih cepat terbakar dibandingkan dengan batubara serta karakteristik lain yang sedikit berbeda.*

Kata kunci : *pembakaran, vinasse, batubara, CFD, non-premix*

Abstract-*Vinasse as a sugarcane waste has large amount of debit that must be treated through various methods. One of the methods is combustion. Combustion is a chemical reaction that produced heat which is can be used as energy supply for further process. Vinasse according to proxymate and ultimate analysis has characteristic similar to coal after being evaporated. This paper is studied about the comparassion of combustion characteristic between vinasse and coal as a fuel in terms of temperature distribution, species distribution, and velocity vector. Combustion process conducted with computational fluid dynamics method especially non-premix combustion model. The geometry of furnace is 84 m x 5.2 m with the orthogonal quality of mesh is close to 1 and 100 percent of quad cells. The simulation of combustion process conducted in 2D (two dimensions) with air as oxydizer. The results of the simulation shows that vinasse were very potential to use as a fuel with quicker combustion compared to coal but with slightly different characteristic.*

Keywords : *Combustion, vinasse, coal, CFD, non-premix*

PENDAHULUAN

Pembuangan vinasse dengan proses pengolahan yang tidak memadai menuju tanah dan badan air telah menjadi masalah yang menarik sejak puluhan tahun lalu karena masalah lingkungan yang kompleks. Karena vinasse diproduksi dalam jumlah yang besar, pengolahan dengan berbagai alternatif telah dikembangkan, seperti daur ulang vinasse dengan fermentasi, konsentrasi dengan penguapan, dan ragi serta produksi energi dengan pembakaran.

Serangkaian tes proses pembakaran menunjukkan bahwa vinasse dicampur dengan *fuel oil* menjadi alternatif yang tepat untuk mengolah bahan limbah tersebut. Pembakaran vinasse telah diteliti oleh beberapa peneliti dan mencapai hasil yang bervariasi. Menurut Kujala dkk. (1976), konsep penguapan vinasse diikuti oleh proses pembakaran dilakukan pertama kali oleh Porion Furnace dan dikembangkan oleh Whitaker serta US Industrial Chemicals Inc. Selain itu, Reich (1945) meningkatkan konsentrasi vinasse di

evaporator dengan efek quadruple hingga 70-80% sebelum proses pembakaran.

Meskipun sebagian besar literatur yang ada melaporkan keberhasilan proses pembakaran vinasse sebagai alternatif pengolahan, kurangnya informasi membuat teknologi ini sulit diterapkan pada industri. Gupta et al. (1968) orang yang pertama untuk melakukan eksperimen pembakaran menggunakan unit *fluidized bed*. Vinasse disiapkan pada 30-40° BRIX dan kemudian dibakar pada 700° C. Sebuah skema serupa dilakukan oleh Dubey (1974) yang menggunakan tungku bahan bakar ganda (vinasse pada 60% padatan dan ampas tebu).

Kelemahan pada proses pembakaran pembakaran vinasse, antara lain :

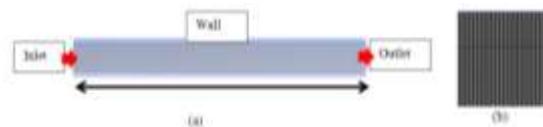
- cukup banyak energi yang digunakan selama penguapan vinasse, yang merupakan proses yang diperlukan untuk pembakaran;
- Membentuk *foam* di evaporator ketika mencapai konsentrasi 75% padatan;
- kristalisasi garam dalam sirup, menyebabkan kesulitan memompa;
- Abu yang terbentuk pada 700 °C, sehingga membatasi operasi pembakaran.
- Teknologi masih dalam pengembangan.
- Studi tambahan pada pola atomisasi vinasse diperlukan karena parameter ini mempengaruhi efisiensi pembakaran.

Fenomena pembakaran sendiri dapat didekati dengan menggunakan metode *computational fluid dynamics* (CFD). Data fenomena yang kurang dalam proses pembakaran vinasse didapatkan melalui tahap *post-processing* yang meliputi kontur, vektor, dan animasi. Telah ditemukannya *governing equation* yang mampu mendekati fenomena riil memungkinkan metode CFD mendekati dan mendapatkan karakteristik proses pembakaran vinasse secara spesifik. Data proses pembakaran vinasse yang berupa kontur dan vektor karakteristik pembakaran dapat digunakan untuk melakukan optimasi proses pembakaran vinasse di masa depan.

METODE PENELITIAN

Prosedur simulasi menggunakan 3 tahap yaitu *pre-processing*, *solver*, dan *post-processing*. Pada tahap *pre-processing* dilakukan pendefinisian geometri dan properti bahan. Ruang bakar yang digunakan memiliki dimensi 84 m x 5,2 m dengan menggunakan 2 inlet yang berbeda untuk bahan bakar dan udara. Tahap *grid generation* menggunakan metode *multizone quadrilateral* untuk menghasilkan untuk menghasilkan *orthogonal quality* 1 dan rata-rata skewness 1,96 x 10⁻⁷ yang termasuk dalam zona *fine mesh*. Properti

dari bahan bakar yang digunakan ditunjukkan oleh Tabel 1.



Gambar 1. Pre-processing proses pembakaran (a) desain dan kondisi batas ruang bakar 2 dimensi (b) *grid generation*

Tabel 1 . Properti bahan bakar untuk simulasi

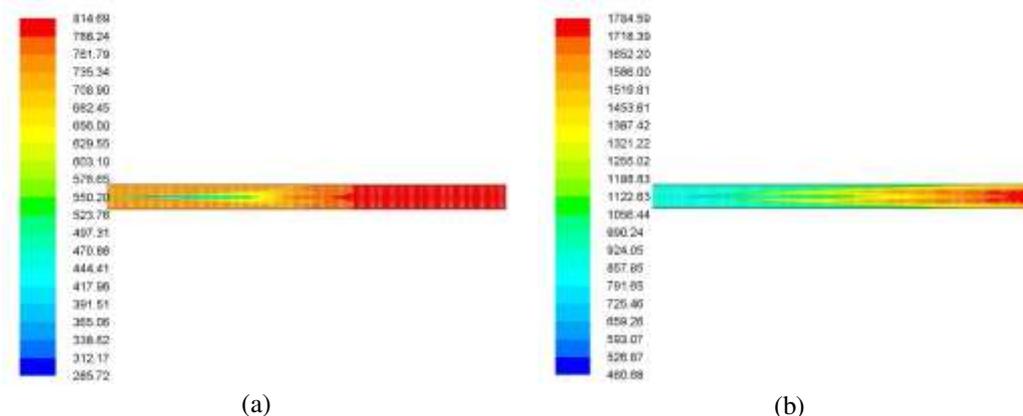
Metode Analisis	Komponen (%)	Vinasse	Batubara
Proksimat	Karbon	31,03	0,644
	Komponen volatil	54,15	0,276
	Abu	14,81	0,05
	Kelembaban	~0	0,03
Ultimat	Karbon	55,64	0,85
	Hidrogen	12,05	0,1
	Oksigen	5,6	0,04
	Sulfur	~0	0
	Nitrogen	26,54	0,01

Proses solver menggunakan model pembakaran *non-premix combustion model* dengan injeksi bahan bakar sebesar 1 kg/s.

HASIL DAN PEMBAHASAN

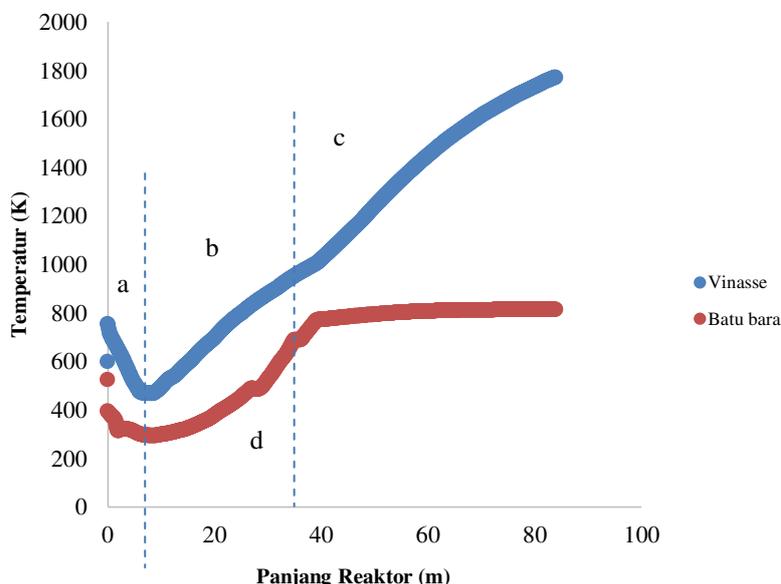
Pengaruh jenis bahan bakar pada proses pembakaran dimana dalam studi ini adalah batubara dan vinasse terhadap distribusi suhu jika ditinjau dari bidang pengamatan dapat dilihat pada Gambar 2. Untuk temperatur pembakaran batubara, sepanjang 8% panjang reaktor memiliki rentang temperatur 300–400 K. Hal ini menunjukkan zona pencampuran dari batu bara dan oxidizer panas yang memasuki ruangan reaktor. Kemudian temperatur meningkat hingga mencapai akhir zona reaktor. Kenaikan temperatur ini menunjukkan bahwa batubara telah mengalami evaporasi dan devolatilisasi sehingga proses ini melepaskan panas yang mengakibatkan meningkatnya suhu dalam reaktor. Namun, ketiadaan udara radial menyebabkan *swirl phenomenon* menjadi berkurang mengakibatkan batubara sulit untuk terbakar sehingga temperatur yang terjadi tidak optimal.

Pada Gambar 3 menunjukkan perbedaan temperatur rata-rata sepanjang kolom reaktor. Secara umum kedua bahan bakar memiliki pola yang hampir sama. Pada bagian awal terjadi fluktuasi temperatur yang menunjukkan proses *heating* atau pencampuran bahan bakar masuk pada suhu dingin yang bercampur dengan udara panas yang berfungsi sebagai oksidizer.



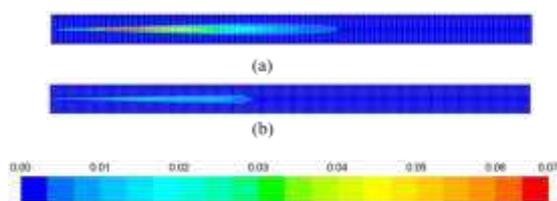
(a) (b)

Gambar 2. Distribusi temperatur (K): (a) Batubara; (b) Vinasse

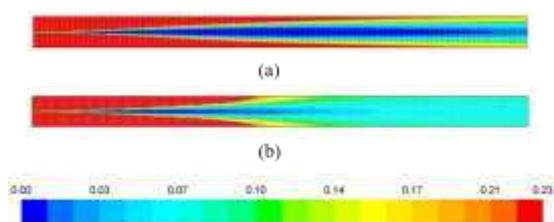


Gambar 3. Temperatur rata-rata reaktor sepanjang kolom reaktor

Vinasse memiliki volatile matter yang lebih banyak sehingga dengan jumlah oksidizer yang sama, vinasse membutuhkan waktu yang lebih lama untuk proses evaporasi dan devolatilisasi. Sehingga besar kemungkinan pada zona b dan c adalah proses pelepasan fraksi volatile matter pada vinasse yang pada batubara terjadi pada zona d. Karena vinasse memiliki fraksi volatile matter yang lebih banyak sehingga lebih banyak pula gas-gas mudah terbakar yang dilepaskan. Hal ini yang mengakibatkan temperatur pembakaran vinasse memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada batubara dengan jumlah *massflowrate* dan *oxydizer* yang sama.



Gambar 4. Fraksi massa karbon solid dalam reaktor: (a) Vinasse (b) Batubara

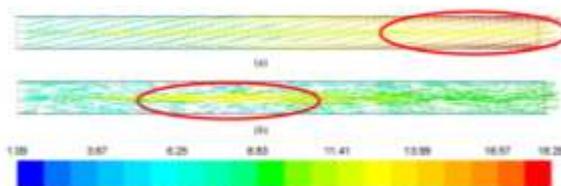


Gambar 5. Fraksi massa Oksigen dalam reaktor: (a) Vinasse (b) Batubara

Jika ditinjau dari fraksi massa karbon solidnya, perbandingan antara fraksi kedua bahan bakar sepanjang kolom reaktor tersaji pada Gambar 4. Pada kondisi awal, fraksi massa karbonnya 0,003 sedangkan untuk batubara adalah 0,18 dengan basis massflowrate yang digunakan adalah 1 kg/s. Pada Gambar 4 menunjukkan walau fraksi karbon pada batubara lebih banyak pada awalnya, namun setelah 20% panjang reaktor fraksinya berkurang drastis, sedangkan pada vinasse masih terdapat banyak. Setelah 40% panjang reaktor fraksi karbon sudah bisa dikatakan habis, sedangkan pada vinasse dapat dikatakan habis setelah 50% panjang reaktor padahal vinasse memiliki jumlah karbon solid yang lebih sedikit. Sedangkan perubahan fraksi oksigen pada kolom reaktor dapat dilihat pada Gambar 5. Pada sepanjang 15% panjang kolom reaktor, kondisi oksigen masih sama antar batubara maupun vinasse. Pada proses pembakaran batubara, oksigen yang sebelumnya kaya di bagian tengah dan dekat dinding kemudian berkurang drastis. Ini artinya proses pengapan fraksi volatil terjadi dengan cepat pada batubara, kemudian terjadi proses pembakaran karbon solid dengan oksidizer. Setelah mencapai setengah panjang ruang bakar, oksigen yang berada di panjang reaktor fraksinya berkurang namun hampir merata di semua bagian. Pada proses pembakaran vinasse, bagian tengah kolom miskin oksigen hingga akhir kolom namun terdapat masih cukup oksidizer pada bagian dekat dinding. Hal ini dapat dikarenakan pada pembakaran vinasse terjadi dengan pelan namun terjadi di sepanjang kolom atau kurang terjadinya kontak antara oksidizer dengan bahan bakar.

Gambar 6 menunjukkan vektor kecepatan untuk proses pembakaran sepanjang kolom reaktor. Pada pembakaran vinasse vektor kecepataannya menunjukkan semuanya mengarah ke arah outlet. Ini artinya kontak udara dan bahan bakar cukup kecil. Hal ini yang menunjukkan kenapa fraksi oksigen berkurang paling banyak pada bagian tengah kolom dan masih banyak pada daerah yang dekat dengan dinding. Jika

dibandingkan dengan arah vektor kecepatan proses batubara, dapat dilihat bahwa alirannya mengalami banyak perubahan. Hal ini yang dapat memperluas kontak antara bahan bakar dan oksidizer. Dengan semakin luasnya permukaan kontak maka akan mempercepat proses terjadinya kebakaran. Seperti pada Gambar 5 pada pembakaran batu bara menunjukkan kecepatan paling besar didapat pada 40% panjang kolom sedangkan pada pembakaran vinasse kecepatan paling besar didapatkan pada bagian 90% panjang kolom. Jika dibandingkan antara gambar 2 dan Gambar 6, kecepatan maksimal didapatkan ditempat yang sama dengan temperatur maksimal yang ini artinya tempat ini merupakan zona pembakaran. Pembakaran vinasse menghasilkan temperatur yang lebih tinggi daripada batubara disebabkan vinasse menghasilkan lebih banyak fraksi volatil yang lebih mudah terbakar sehingga meningkatkan temperatur rata-rata, vinasse tidak membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai zona pembakaran karena kandungan karbon yang lebih rendah.



Gambar 6. Vektor Kecepatan (m/s): a) Vinasse ; b) Batubara

Tabel 2. Perbedaan Properti dan Komposisi Gas Keluaran Pembakaran

Properti	Vinasse	Batubara
Densitas (kg/m ³)	0,32	0,50
Turbulent Viscosity (kg/m.s)	0,02	0,09
Suhu (K)	1662,06	813,65
Fraksi H ₂ O keluar	0,06	0,04
Fraksi CO ₂ keluar	0,11	0,15
Fraksi CO keluar	0,02	4,2e-06
Fraksi H ₂ keluar	0,0009	2,5e-06

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa perbedaan bahan bakar mengakibatkan perbedaan properti seperti rata-rata densitas dan *turbulent viscosity* campuran dalam ruang bakar yang akan mengakibatkan perbedaan lama kontak bahan

bakar dengan udara. Hal itu juga yang menjadi salah satu penyebab perbedaan suhu keluaran gas hasil pembakaran

KESIMPULAN

Pengolahan vinasse menggunakan proses pembakaran dapat dilakukan karena setelah dilakukan proses evaporasi, vinasse memiliki karakteristik yang identik dengan batubara. Secara umum, pembakaran batubara lebih baik karena karbon solidnya lebih banyak yang terbakar, sehingga memiliki fraksi CO lebih sedikit daripada vinasse sedangkan vinasse dapat terbakar lebih cepat karena kandungan karbon yang lebih rendah. Optimasi pembakaran dapat dilakukan dengan menambahkan udara radial sehingga fenomena *swirling air* dapat terjadi. Simulasi CFD untuk proses pembakaran vinasse ke depannya dapat dilakukan secara 3 dimensi untuk mendapatkan fenomena secara lebih riil dan komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Christofoletti, C.A., Escher, J.P., Correia, J.E., Marinho, J.F.U., Fontanetti, C.S. 2013. Sugarcane Vinasse : Environmental Implications of Its Use. Elsevier Waste Management, Volume 33, Issue 12, December 2013:2752-2761/
- Cortez, L.A.B., Perez, L.E.B. (1997). Experiences on Vinasse Disposal Part III : Combustion of Vinasse - #6 Fuel Oil Emulsions.
- Dubey, R.S.(1974). Distillery Effluents-Treatment and Disposal, Sugar News Ann. Number 6:9-26.
- Gupta, S.C., Shula, J.P., Shukla, N.P.(1968).Recovery of Crude Potassium Salts from Spent Wash of Molasses Distilleries by Fluidized Incineration, 1968-Proceedings of the 36th Annual Conv. Sugar Technology Ass., India:XXXXIII-1 - XXXXIII-7.
- Kujala, P., Hull, R., Engstrom, F., Jackman, E.(1976). Alcohol from Molasses as a Possible Fuel and Economics of Distillery Effluent Treatment, Sugar y Azucar, March, vol. 71:28-39
- Reich, G.T.(1945). Production of Carbon and Potash from Molasses Distillers' Stillage, Trans. Amer. Inst. Chem. Engrs., 41:233-251.