

PRODUKSI SILIKA AMORF DARI SEKAM PADI UNTUK *FILLER* BARANG JADI KARET MENGGUNAKAN *FLUIDIZED BED COMBUSTOR*

Production of Amorphous Silica from Rice Husk for Rubber Goods Filler Using Fluidized Bed Combustor

Asron Ferdian Falaah¹, Adi Cifriadi¹, dan Andri Cahyo Kumoro²

¹Pusat Penelitian Karet, Jln. Salak No.1 Bogor 16151,

Email : asron@puslitkaret.co.id

² Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H. Soedarto, SH Tembalang-Semarang 50275

Diterima 6 Desember 2015 / Direvisi 10 Maret 2015 / Disetujui 15 Maret 2016

Abstrak

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan apabila tidak ditangani dengan baik. Sekam padi mempunyai kandungan silika yang tinggi, yang berpotensi dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, seperti sebagai bahan pengisi barang jadi karet. Silika dari sekam padi dapat diperoleh melalui metode pembakaran sekam padi menjadi abu putih yang kaya kandungan silika dalam wujud amorf. Proses pembakaran dengan biaya murah, hemat energi dan dengan waktu cepat merupakan keuntungan dalam memproduksi silika amorf dari sekam padi. *Fluidized Bed Combustor* (FBC) merupakan alat yang bekerja dengan prinsip dasar hidrodinamika fluida yang mampu membakar sekam padi pada suhu pembakaran 600 °C. Kandungan abu berwarna putih yang dihasilkan adalah silika amorf mencapai 93,5% dengan cemaran karbon hanya sekitar 3%, kandungan P₂O₅ 0,98%, K₂O 1,39%, MgO 1,1%, CaO 0,83% dan lainnya 1,95%. Abu berwarna putih tersebut harus dimurnikan dari ion-ion logam dengan proses pengkelatan dengan asam sitrat 5%, kemudian diekstraksi dengan larutan NaOH 1,5 N pada suhu 100 °C dan diendapkan dengan menggunakan larutan HCl 1 N pada suhu kamar. Silika amorf hasil dari proses pengendapan kemudian dikeringkan pada suhu 80 °C dan dicuci dengan air suling untuk memastikan ion-ion logam yang tidak diinginkan hilang.

Kata kunci : karet; silika amorf; bahan pengisi; *fluidized bed combustor*

Abstract

The rice husk was a agriculture waste which cause environmental pollutions if poor handling. The rice husk have contains of high silica, which potential used for many applications, such as filler of rubber goods. The rice husk silica could be obtained trough burned method become white ash, which high content amorphous silica. The burning process have advantage for production of amorphous silica because low cost, save energy and fastly. Fluidized Bed Combustor (FBC) was equipment which that work with the basic principles of fluid hydrodynamic at 600 °C burn temperature. The contain of white ash produced were amorphous silica 93% with carbon contamination only 3%, P₂O₅ 0,98%, K₂O 1,39%, MgO 1,1%, CaO 0,83% and etc 1,95%. The white ash product must to purified from metal ions by chelation process with 5% citric acid, so extraction process with 1,5 N NaOH solution at 100 °C temperature and precipitation with 1 N HCl solution at room temperature. The precipitated of amorphous silica was dried at 80 °C temperature and washed by distilled water for ensure that undersirable metal ions lost.

Keywords : rubber; amorphous silica; filler; fluidized bed combustor

Pendahuluan

Bahan pengisi (*filler*) *carbon black* banyak digunakan untuk barang jadi karet yang berwarna hitam atau produk yang tidak perlu memperhatikan faktor warna. Sedangkan untuk barang jadi karet yang menjadikan warna sebagai salah satu faktor penting pada

produk, dapat menggunakan *filler* yang berwarna putih seperti silika yang bersifat menguatkan. Namun harga silika komersial masih relatif mahal sehingga barang jadi karet yang diperkuat dengan silika menjadi tidak ekonomis.

Silika banyak terkandung dalam bahan alam salah satunya yaitu sekam padi. Sekam padi mengandung silika aktif dengan kadar cukup tinggi berkisar 87-97% berat (Sembiring *et al.*, 2011). Sekam padi merupakan produk samping hasil penggilingan padi. Proses penggilingan gabah kering giling (GKG) akan menghasilkan 78% beras, beras pecah dan bekatul, sedangkan 22% sisanya merupakan sekam padi (Aderolu *et al.*, 2007). Jumlah yang demikian besar apabila tidak diolah dengan baik mengakibatkan sekam padi berpotensi menjadi limbah pertanian yang memicu timbulnya permasalahan terhadap lingkungan. Pemanfaatan sekam padi yang umum dijumpai adalah dalam bentuk dedak yang digunakan sebagai bahan pembuatan pakan untuk ternak unggas dengan harga yang relatif murah. Oleh karena itu sekam padi harus dapat dimanfaatkan secara langsung maupun diubah melalui proses kimia yang sederhana menjadi produk material bernilai tinggi (Ekebafe *et al.*, 2011).

Potensi kandungan silika yang cukup tinggi dalam sekam padi, maka peluang untuk diproduksi menjadi material bernilai tinggi seperti *filler* sangatlah besar. Proses pengambilan silika alami dari sekam padi dengan cara cepat, efisien dan perolehan rendemen tinggi merupakan pilihan yang lebih baik. Silika dapat diperoleh dari pembakaran sekam padi pada suhu tertentu untuk menghasilkan abu sekam yang kaya akan silika. Abu sekam dapat diproduksi dalam jumlah besar secara kontinyu melalui pembakaran yang terkendali pada suatu alat pembakar, salah satunya menggunakan teknologi *Fluidized Bed Combustor* (FBC). FBC merupakan teknologi serbaguna dengan berbagai keunggulan seperti hemat bahan bakar, suhu rendah dan emisi rendah (Madhiyanon *et al.*, 2011). Keuntungan yang diperoleh bagi industri penghasil silika dengan

metode FBC adalah efisiensi terhadap waktu produksi dan proses pemurnian. Silika amorf hasil pembakaran masih mengandung beberapa oksida logam seperti Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O dan pengotor lainnya, sehingga silika perlu dimurnikan dengan beberapa proses seperti pengkelatan, ekstraksi dan presipitasi.

Tulisan ini membahas mengenai teknologi proses pembuatan silika amorf sebagai *filler* barang jadi karet dari sekam padi menggunakan teknologi FBC, prinsip kerja FBC hingga proses pemurnian silika amorf dari oksida logam. Diharapkan dapat memberi informasi mengenai teknologi pengolahan limbah sekam padi untuk menghasilkan material bernilai tinggi berupa silika amorf yang dapat dimanfaatkan sebagai *filler* produk barang jadi karet.

Pembuatan Silika Dari Sekam Padi

Silika merupakan *filler* yang sangat baik untuk karet alam dan polimer lainnya. Silika yang digunakan sebagai *filler* mempunyai kemurnian tinggi (95-98%) (Ugheoke and Mamat, 2012) dan harus mempunyai kandungan karbon yang sesuai sehingga mampu menghambat degradasi oleh oksidasitermal dan cahaya. Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat yang tersusun dari rantai satuan SiO_4 tetrahedral dengan formula umum SiO_2 (Sulastris dan Kristianingrum, 2010). Bahan ini dapat berstruktur kristalin dan amorf. Untuk silika amorf pemakaiannya banyak digunakan sebagai bahan pengisi polimer, termasuk untuk karet. Sifat bahan pengisi ini dapat memperbaiki sifat mekanik produk karet yang dihasilkan karena silika termasuk bahan pengisi bersifat penguat.

Karakteristisasi silika sebagai *filler* karet didasarkan pada ukuran partikel dan luas permukaan spesifik. Penentuan luas permukaan biasanya dilakukan dengan metode adsorpsi nitrogen (BET) dan absorpsi minyak (oil absorption). Selain itu penentuan pH dan komposisi kimia bahan juga diperlukan, sedangkan untuk penentuan ukuran partikel dapat dilakukan dengan SEM

(*Scanning Electron Microscopy*) ataupun *particle size analyzer*.

Umumnya silika komersial untuk *filler* barang jadi karet dibuat dari campuran sodium silikat, asam hidroklorida dan ion logam. Pembuatan silika dari abu sekam padi pernah dilakukan oleh Chuayjuljit *et al.* (2001) dengan terlebih dahulu sekam padi dicuci dengan air. Sekam yang telah dicuci dicampur dengan larutan asam HCl 0,4 M dengan perbandingan 100 gr sekam per satu liter asam kemudian dipanaskan hingga mendidih selama 30 menit. Campuran kemudian dipanaskan selama tiga

jam pada suhu 105 °C. Pada tahapan tersebut warna sekam berubah dari kuning menjadi coklat. Sesudah proses pemanasan sekam dipisahkan dari larutan asam dan dicuci menggunakan air, kemudian selanjutnya sekam dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110 °C. Sekam yang telah kering dibakar dalam *elektric furnace* pada suhu 600 °C selama 6 jam hingga diperoleh abu putih yang mengandung silika. Spesifikasi silika komersial dan silika dari sekam padi hasil penelitian Chuayjuljit *et al.* (2001) untuk *filler* barang jadi karet disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan kimia silika komersial dan silika sekam padi

Kandungan kimia	Silika komersial	Silika dari sekam padi
Kandungan SiO ₂	>88%	99,6%
Kandungan Al ₂ O ₃	<0,5%	0,05%
Kandungan Fe ₂ O ₃	<0,1%	<0,001%
Kandungan Na ₂ CO ₄	<2,0%	-

Sumber : Chuayjuljit *et al.* (2001)

Hasil percobaan dalam Tabel 1 menunjukkan kandungan kimia silika dari sekam padi mendekati silika komersial. Data lain menunjukkan bahwa produk karet yang diperkuat dengan silika abu sekam padi mempunyai waktu pematangan yang lebih pendek dibandingkan dengan silika komersial. Sifat mekanik karet yang diperkuat dengan silika abu sekam padi, seperti kuatan tarik, kuat sobek, ketahanan terhadap abrasi, *compression set* dan *resiliencenya* ternyata juga lebih baik dibandingkan dengan silika komersial. Namun pembuatan silika dari sekam padi dengan menggunakan *electric furnace* dinilai mengkonsumsi energi listrik yang besar sehingga menjadi tidak ekonomis dan waktu proses yang tidak kontinyu. Pembuatan silika dengan cara yang lebih ekonomis dengan konsumsi energi lebih rendah, waktu yang cepat dan proses terus menerus sangat diperlukan. *Fluidized bed combustor* (FBC) merupakan teknologi serbaguna dengan berbagai keunggulan seperti hemat bahan bakar, suhu operasi rendah dan emisi rendah (Madhiyanon *et al.*, 2011).

Teknologi FBC mampu menghasilkan silika dalam wujud amorf dengan kandungan karbon rendah dalam waktu yang cepat karena mempunyai intensitas pembakaran dan pencampuran yang tinggi (Taib *et al.*, 2001; Rozainee *et al.*, 2008). Karena itu peluang memproduksi silika amorf dengan biaya produksi rendah, hemat energi dengan waktu yang cepat dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi FBC.

Fluidized Bed Combustor

Fluidized bed combustor (FBC) merupakan suatu alat yang dirancang berdasarkan prinsip mekanika fluida untuk membakar suatu bahan dengan memanfaatkan udara (fluida) yang dialirkan dari bagian bawah ruang bakar dengan kecepatan tertentu untuk menembus hamparan bahan atau media padat, sehingga media padat tersebut akan berhamburan /bergerak dan sifatnya menyerupai fluida. Pada laju alir udara yang rendah media padat akan tetap diam, karena udara yang mengalir tidak mengubah posisi keadaan padatan

tersebut, sehingga keadaan seperti ini disebut unggun diam (*fixed bed*). Apabila laju alir udara tinggi, media padat perlahan-lahan akan bergerak dan kemudian akan terurai satu sama lain berhamburan tersuspensi oleh aliran udara yang melaluinya.

Fenomena fluidisasi pada partikel yang bersifat kohesive dapat ditingkatkan dengan mencampur dengan material padat lainnya sehingga menjadi sistem dua campuran padatan atau multi campuran padatan. Biasanya digunakan material yang bersifat *inert* seperti pasir dapat digunakan bersama sekam padi. Karena pasir berfungsi untuk meningkatkan kualitas fluidisasi, pencampuran dan pemanasan, serta perpindahan massa dari sekam padi yang dibakar dalam FBC (Kumoro *et al.*, 2014). Jenis pasir yang digunakan yaitu pasir yang tahan terhadap suhu pembakaran, tanpa mengalami pelunakan dan pelelehan. Banyak jenis pasir yang tahan pada suhu tinggi, salah satunya jenis pasir yang berasal dari letusan gunung berapi karena pasir tersebut tahan hingga suhu diatas 600^oC.

Teknologi FBC memiliki beberapa keunggulan untuk digunakan sebagai pembakar biomassa, antara lain kemampuan untuk membakar bermacam jenis biomasa tanpa menimbulkan efek samping. Berbagai bahan biomassa seperti sekam padi, bagas tebu, maupun limbah hasil pertanian dapat dibakar dalam FBC yang menghasilkan energi maupun produk abu yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Pembakaran sekam padi menggunakan FBC menunjukkan bahwa kecepatan, kesinambungan dan kemampuan menghasilkan energi proses sendiri sangat menjanjikan. Sehingga sekam padi yang dibakar menggunakan FBC dapat menghasilkan abu yang mengandung 93% silika amorf dan hanya 2,1% arang (Martinez *et al.*, 2009).

Beberapa desain FBC telah dibuat, namun prinsip kerjanya sama. Salah satu contoh FBC seperti Gambar 1 terdapat beberapa bagian yaitu kolom fluidisasi yang berisi media pasir yang terletak pada bagian dasar kolom, bagian pengumpan (*hopper*), cerobong keluar gas

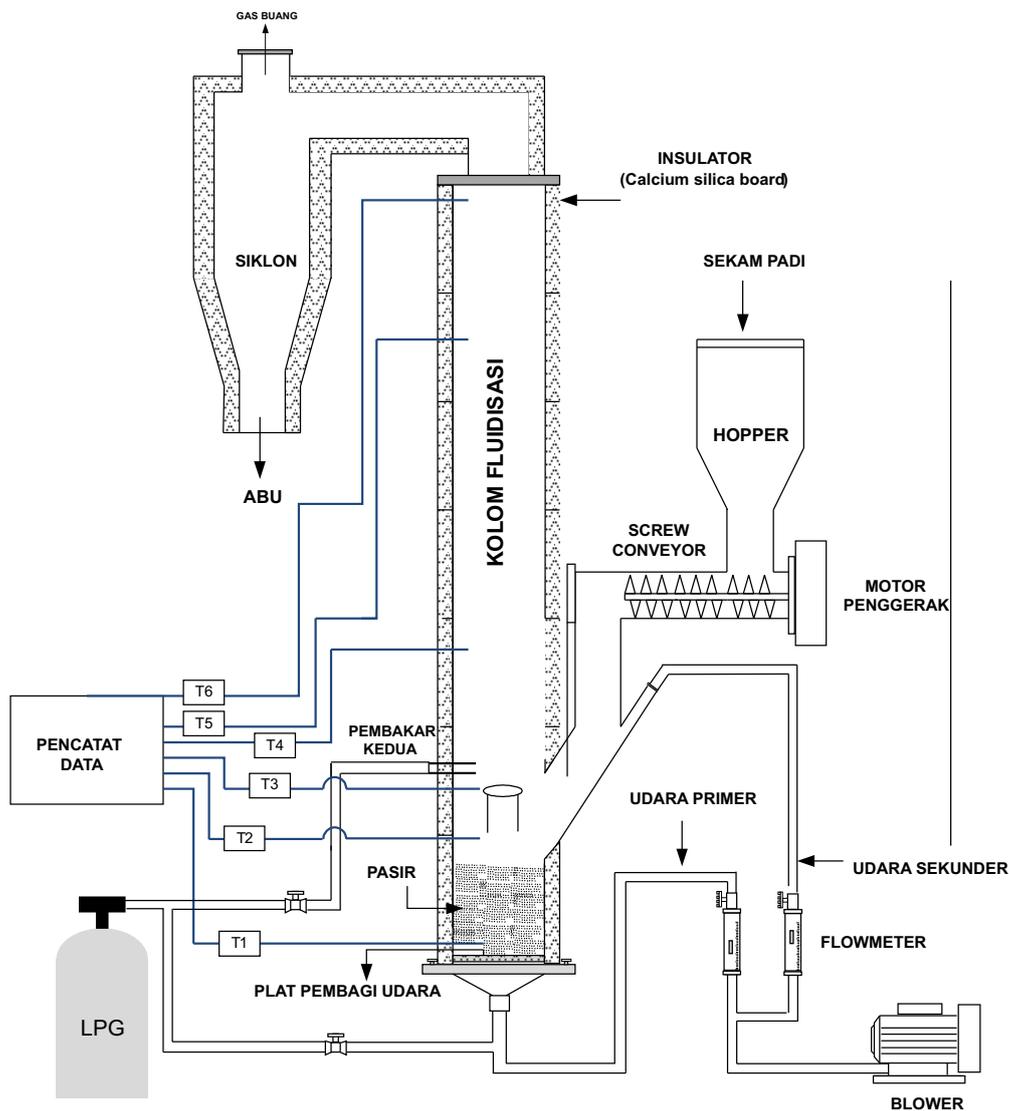
panas, siklon, penghembus udara (*blower*), serta pematik bahan bakar.

Pada perancangan FBC diperlukan data rancangan untuk mengkaji hidrodinamika yang terjadi pada FBC. Perancangan FBC selalu diawali dengan memperkirakan nilai parameter dasar yang diperlukan dan diperkirakan berdasarkan pada sifat fisik bahan yang akan dibakar. Sedangkan parameter perancangan konstruksi FBC meliputi perancangan bagian utama kolom *fluidized bed*, plat pembagi aliran udara, bagian atas kolom *fluidized bed*, siklon, alat pengumpan (*hoper* dan *screw feeder*) dan perhitungan kebutuhan udara (Kumoro *et al.*, 2013). Beberapa penelitian mengenai FBC berfokus pada parameter pembakaran, sehingga dalam perancangan FBC harus memperhitungkan intensitas pembakaran, laju fluidisasi minimum, kebutuhan udara, dan efisiensi pembakaran. Selain perhitungan tersebut di atas kinerja pembakaran seperti emisi gas pencemar, kandungan karbon dalam abu, kehilangan kalor juga diperhitungkan (Armesto *et al.*, 2002).

Pembuatan Silika Amorf Menggunakan FBC

Sekam padi diumpankan melalui *hopper*, kemudian dialirkan menuju kolom fluidisasi menggunakan *screw conveyor* yang digerakkan oleh motor penggerak seperti yang disajikan pada Gambar 1. Pada saat bersamaan udara primer dialirkan pada bagian bawah kolom fluidisasi melalui plat pembagi aliran udara, sedangkan udara sekunder dialirkan pada saluran umpan masuk menuju kolom untuk menghindari semburan api masuk dalam saluran umpan (Madhiyanon *et al.*, 2010), sekaligus menghindari terjadinya penyumbatan sehingga aliran sekam padi menuju kolom berjalan baik serta berperan sebagai udara pembakar tambahan.

Sekam padi dibakar dalam kolom fluidisasi perlahan-lahan hingga mencapai suhu pembakaran antara 600-700 °C sampai menjadi abu, dengan laju alir udara tertentu abu tersebut terbang berhamburan dan mengalir keluar kolom FBC melalui siklon.



Gambar 1. Ilustrasi *Fluidized bed combustor* (FBC) untuk membakar sekam padi

Gas hasil pembakaran dalam FBC keluar melalui cerobong gas buang. Suhu gas buang yang tinggi dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk berbagai keperluan, salah satunya untuk proses pengeringan. Sepanjang kolom fluidisasi dilapisi insulator untuk menjaga panas tidak terbuang ke lingkungan sekitar, sehingga suhu pembakaran tidak turun dan pembakaran lebih maksimum. Beberapa faktor utama yang harus diperhatikan dalam proses produksi silika amorf dengan menggunakan FBC antara lain sebagai berikut :

a. Kebutuhan Udara Pada FBC

Perhitungan kebutuhan udara dan kelebihan udara pembakar sangat diperlukan pada proses pembakaran dalam FBC, karena berpengaruh terhadap efisiensi pembakaran FBC. Pada saat proses pembakaran, bahan baku sekam padi harus kering dan mempunyai kadar air yang rendah karena sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran (Simorangkir *et al.*, 2010). Kelebihan udara mempengaruhi panas dan kinerja keseluruhan FBC, karena dengan meningkatnya persen kelebihan udara efisiensi pembakaran akan

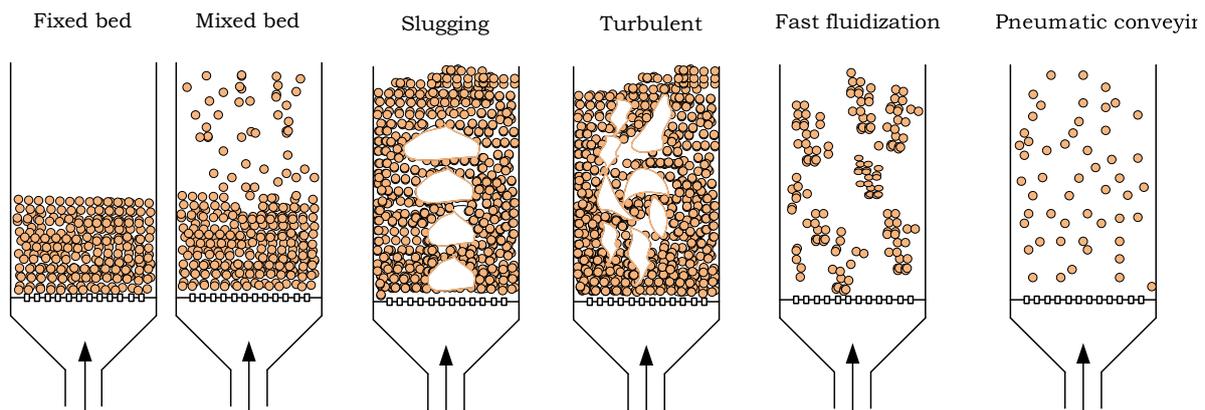
semakin meningkat. Biasanya udara yang digunakan dalam proses pembakaran adalah lebih tinggi dari kebutuhan udara secara stoikhiometri, namun pada pembakaran dalam FBC udara dapat bercampur baik dengan sekam padi, sehingga kelebihan udara yang diperlukan tidak perlu terlalu tinggi (tidak lebih dari 60%) karena dapat mengakibatkan menurunnya efisiensi pembakaran akibat kehilangan panas yang tinggi. Meningkatnya jumlah kelebihan udara dan menurunnya suhu FBC berpengaruh terhadap laju reaksi pembakaran sehingga menghasilkan kadar karbon tinggi pada produk akhir FBC (Gungor, 2010). Kelebihan udara yang tinggi juga dapat mengakibatkan tidak sempurnanya pencampuran antara udara, sekam padi, pasir serta mengakibatkan api cepat padam sebelum membakar sekam padi.

Martinez *et al.* (2011) melaporkan bahwa dengan ketinggian bed 130% dari diameter bed FBC efisiensi pembakaran sekam padi hingga 98% dapat dicapai dengan menggunakan kelebihan udara antara 40-82,5%. Penggunaan kelebihan udara diatas 82,5%, menyebabkan suhu pembakaran dan kandungan silika dalam abu rendah (<90%).

b. Laju Fluidisasi Minimum

Perhitungan laju fluidisasi minimum (Umf) merupakan parameter penting dalam perancangan sistem *fluidized bed* (Paudel and Feng, 2013), karena merefleksikan batasan terendah laju alir fluida yang dibutuhkan untuk proses fluidisasi. Berdasarkan laju fluidisasi maka pola aliran dan pencampuran yang terjadi dalam FBC dapat diketahui. Kondisi yang ideal dari pola aliran dalam FBC yaitu dimana terbentuk gelembung udara yang kuat dan merata serta pola aliran yang agak turbulen (Kumoro *et al.*, 2013).

Pola aliran dalam FBC juga dipengaruhi oleh ketinggian pasir dalam bed. Apabila tumpukan pasir terlalu dangkal (Tinggi bed = 0,25 x diameter bed) tidak dapat membentuk gelembung udara yang berguna untuk mencampur pasir dan sekam padi, sedangkan bila terlalu tinggi (Tinggi bed = 0,75 x diameter bed) menyebabkan terbentuk gelembung udara besar dengan pola aliran turbulen mengakibatkan pencampuran pasir dengan sekam padi baik, namun aliran kurang stabil karena terjadi hamburan pasir ke arah atas. Pola aliran yang terjadi dalam *fluidized bed* disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Pola aliran dan pencampuran dalam *Fluidized bed combustor* (Sumber Bar-Meir, 2013)

c. Suhu Pembakaran Dalam FBC

Suhu pembakaran yang optimum ditentukan berdasarkan waktu pembakaran dan kualitas produk abu sekam padi yang diperoleh. Sekam padi yang dibakar pada suhu 500-700 °C menghasilkan abu dengan kandungan silika amorf 94-96% (Pahlepi *et al.*, 2013). Apabila suhu pembakaran terlalu tinggi dimungkinkan sekam padi yang diumpungkan habis terbakar dan mengakibatkan kandungan silika dalam abu sekam padi berubah dari amorf menjadi kristal tridimit dan kristobalit jika suhu pembakaran melebihi suhu kristalisasi silika. Kristal kristobalit dari sekam padi terbentuk karena perlakuan panas pada suhu 900 – 1300 °C (Sembiring dan Simanjutak, 2012), sedangkan terbentuknya kristal Tridimit pada kisaran suhu 867-1470 °C. Pembakaran dalam FBC pada suhu rendah menyebabkan pembakaran kurang sempurna dan berakibat produk abu sekam padi yang diperoleh tercampur dengan arang sekam padi. Selain itu terdapat ion-ion logam dan karbon yang tidak terbakar dapat berpengaruh terhadap kemurnian dan warna abu.

d. Efisiensi Pembakaran dan Emisi Gas

Hasil Pembakaran

Sistem pembakaran dengan efisiensi maksimum dapat meminimalkan biaya investasi, biaya operasi dan emisi gas pencemar. Efisiensi pembakaran sekam padi menjadi abu yang mengandung silika amorf menitikberatkan pada usaha menghasilkan abu sekam padi yang berkualitas. Oleh karena itu, efisiensi pembakaran dinyatakan sebagai massa abu sekam padi berkualitas yang diperoleh atau massa arang sekam padi yang terikut dalam abu terbang yang keluar dari siklon. Pembakaran sekam padi pada suhu diatas 600°C mempunyai efisiensi lebih dari 95%, namun apabila suhu terlalu tinggi kandungan silikanya dalam fase amorf lebih rendah (Kumoro *et al.*, 2013).

Efisiensi pembakaran dipengaruhi oleh laju udara primer dan kelebihan udara. Apabila penggunaan kelebihan udara terlalu tinggi akan menyebabkan turunnya suhu pembakaran dan kurang sempurnanya pembakaran, sehingga konsentrasi CO dalam gas buang masih sangat tinggi.

e. Silika Amorf Hasil Pembakaran FBC

Silika hasil pembakaran FBC mempunyai kualitas yang berbeda pada suhu pembakaran yang berbeda. Pembakaran pada suhu 550-600°C dalam FBC menghasilkan abu sekam padi yang putih bersih dengan cemaran karbon hanya sekitar tiga persen dengan kandungan kadar SiO₂ 93,75%, P₂O₅ 0,98%, K₂O 1,39%, MgO 1,1%, CaO 0,83% dan lainnya 1,95% (Kumoro *et al.*, 2013). Jumlah cemaran karbon yang terlalu banyak akan menimbulkan warna hitam pada produk barang jadi karet yang berwarna, sehingga cemaran karbon diusahakan seminimal mungkin. Pengendalian suhu pembakaran sekam padi merupakan cara yang mudah dilakukan untuk mengurangi cemaran karbon dan setelah itu dilanjutkan dengan menghilangkan ion-ion logam sehingga menghasilkan silika dengan kemurnian tinggi (Ghosh and Bhattacharjee, 2013).

Varietas padi yang digunakan sebagai bahan baku juga menentukan kadar silika dan mineral lainnya dalam abu sekam. Pembakaran sekam padi dari berbagai varietas padi di Indonesia pada suhu 500-600°C pernah dilakukan oleh Kumoro *et al.* (2014), hasil percobaannya disajikan pada Tabel 2.

Pemurnian Silika Amorf

Abu sekam padi hasil pembakaran FBC masih mengandung impuritas dan beberapa ion-ion logam. Adanya kandungan logam dalam abu sekam padi menyebabkan rendahnya kualitas silika amorf yang diperoleh terutama pada warna. Apabila digunakan untuk *filler* barang jadi karet dapat menyebabkan oksidasi pada karet. Silika amorf dari abu sekam padi yang berkualitas merupakan silika amorf dengan kemurnian 95%, cemaran Na, K dan Ca kurang dari 0,1%, berukuran mikron (m) dan luas permukaan spesifik lebih dari 100 m²/g sehingga sangat sesuai jika digunakan pada proses penguatan (*reinforcement*) karet alam. Proses pemurnian silika untuk menghilangkan ion-ion logam dilakukan melalui tiga tahap yang diawali dengan pengkelatan, ekstraksi dan presipitasi silika.

Tabel 2. Komposisi mineral abu sekam padi (%) dari berbagai varietas padi di Indonesia yang dibakar menggunakan FBC pada suhu 500-600°C

Mineral	Cisadane	Gogo	Ciherang	IR-36
SiO ₂	96,23	97,0	96,95	97,35
P ₂ O ₅	0,38	0,3	0,34	0,38
K ₂ O	1,3	0,8	0,94	0,09
MgO	0,3	0,3	0,30	0,23
CaO	0,62	1,1	0,54	0,68
Al ₂ O ₃	0,5	0,3	0,67	0,56
Fe ₂ O ₃	0,05	-	0,07	0,08
Na ₂ O	0,3	0,2	0,11	0,13
Lainnya	0,32	-	0,08	0,34

Sumber : ¹Kumoro *et al.* (2014)



Gambar 3. Abu sekam padi hasil pembakaran menggunakan FBC suhu 500-600°C

Proses pengelatan merupakan proses kimiawi pengikatan logam dengan cara menambahkan senyawa pengkelat yang dapat mengikat logam-logam dan membentuk kompleks logam-senyawa pengkelat. Proses pengikatan logam merupakan proses keseimbangan pembentukan kompleks logam dengan senyawa pengkelat, ini berarti bahwa pengkelatan dipengaruhi oleh konsentrasi senyawa pengkelat. Salah satu senyawa yang digunakan dalam pengkelatan adalah asam sitrat, karena asam sitrat (C₆H₈O₇) dengan tiga asam karboksilat dalam bentuk strukturnya dapat membentuk kompleks dengan logam (Marwati *et al.*, 2005).

Keberhasilan proses pengelatan ion-ion logam tergantung pada konsentrasi asam sitrat yang digunakan. Penggunaan konsentrasi asam sitrat yang tinggi (7 – 9%) berhasil memperoleh silika hingga 99,46%, namun tidak jauh berbeda bahkan lebih rendah dibandingkan silika hasil pengkelatan menggunakan larutan asam sitrat 5% (¹Kumoro *et al.*, 2014). Proses pengkelatan dapat dilakukan dalam suhu rendah sekitar 50 °C, karena pada suhu tersebut pengurangan kadar oksida Fe, Ca, Zn, Na, Al dan Cu tidak berbeda dengan proses pengkelatan pada suhu 80 °C (Chung *et al.*, 2001). Dengan demikian proses pengkelatan dapat dilakukan dengan suhu rendah dan konsentrasi asam sitrat rendah.

Abu sekam padi setelah melalui proses pengkelatan menggunakan asam sitrat kemudian diekstraksi menggunakan larutan NaOH pada suhu didihnya (100–102 °C). Agar ekstraksi dapat berjalan dengan optimal, maka beberapa variabel proses ekstraksi harus diperhatikan, seperti ukuran partikel (sekam padi/abu sekam padi), rasio antara volum larutan pengekstrak dengan massa bahan baku (sekam padi/abu sekam padi), laju pengadukan, pH, dan suhu (Kumoro *et al.*, 2010; Kumoro *et al.*, 2012). Menurut Kumoro *et al.* (2014), konsentrasi larutan NaOH yang optimum adalah 1,5 N atau lebih tinggi, namun perlu dibatasi karena berhubungan dengan biaya proses dan peralatan proses dapat bertahan hingga waktu yang lebih panjang. Setelah proses pelarutan kemudian dilanjutkan dengan proses pengendapan (*presipitasi*) dengan menambahkan larutan HCl 1 M pada suhu kamar (28 °C) (Kalapathy *et al.*, 2000).

Abu sekam padi yang sudah dikelat dan diendapkan masih terdapat ion logam seperti besi dan mangan yang mempunyai muatan

listrik 3⁺ dan 4⁺ yang terjerap pada permukaan silika dengan ikatan kuat. Ion logam tersebut terjebak dalam kerangka silika selama masa pengendapan (*presipitasi*) larutan silikat (Iler, 1979). Terdapatnya besi dan mangan ini berpengaruh terhadap luas permukaan, porositas dan ukuran partikel silika. Untuk menghilangkan pengotor tersebut, silika perlu dicuci kembali menggunakan air suling untuk meningkatkan luas permukaan dan kandungan ion Na, K, Fe dan Ca semakin rendah. Sebelum dicuci dengan air suling, silika dikeringkan terlebih dahulu dengan tujuan untuk menghilangkan kadar air sekaligus membantu membuka kerangka silika. Terbukanya kerangka silika akan semakin mudah melepaskan ion-ion logam yang terjebak pada waktu proses pencucian. Proses pengeringan dapat dilakukan pada suhu 80 °C selama 12 jam hingga kadar airnya 2,5 – 3%. Proses pengeringan kemudian dilanjutkan dengan pencucian menggunakan air suling menghasilkan silika amorf dengan luas permukaan 287 m²/g (Kumoro *et al.*, 2014).



Gambar 4. Silika amorf dari abu sekam padi setelah proses pemurnian

Kesimpulan

Teknologi *Fluidized bed combustor* (FBC) telah mampu membakar sekam padi yang merupakan limbah pertanian menjadi abu sekam yang mengandung silika amorf yang berpeluang dimanfaatkan sebagai *filler* barang jadi karet. Pemakaian energi yang rendah, proses pembakaran cepat dan kontinuitas memberikan keunggulan dibanding dengan alat pembakar konvensional seperti *electric furnace* yang cenderung lebih banyak menggunakan bahan bakar. Sehingga dapat menjadi pertimbangan bagi produsen silika sebagai alat untuk memproduksi silika amorf dari sekam padi. Dalam pengoperasian FBC pengaturan terhadap kebutuhan udara, laju fluidisasi minimum, suhu pembakaran dalam FBC merupakan faktor yang menentukan kualitas abu silika yang dihasilkan. Abu sekam yang banyak mengandung silika dengan kualitas cemar karbon rendah mampu dihasilkan menggunakan FBC dengan suhu pembakaran sekam padi 500-600 °C dengan kandungan SiO₂ lebih dari 90% yang setara dengan silika komersial.

Daftar Pustaka

- Aerolu, A.Z., Iyayi, E.A., and Onilude, A.A. (2007). Changes in nutritional value of rice husk during trichoderma viride degradation. *Bulgarian Journal Of Agricultural Science*, 13, 583-58.
- Armesto, L., Bahillo, A., Veijonen, K., Cabanillas, A., and Otero, J. (2002). Combustion behaviour of rice husk in a bubbling fluidised bed. *Biomass and Bioenergy*, 23(3), 171-179.
- Bar-Meir, G. (2013). *Basics of fluid mechanics*. Illinois : Potto Project.
- Chuayjulit, S., Eiumnoh, S., and Potiyaraj, P. (2001). Using silica from rice husk as a reinforcing filler in natural rubber. *Journal of Science Research Chulalongkorn University*, 26(2), 127-138.
- Ekebafé, L.O., Imanah, J.E., and Okieimen F.E. (2010). Physico-mechanical properties of rubber seed shell carbon-filled natural rubber compounds. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 16(2), 149-156.
- Chung, H.Y., Kim, K.S., Cho, H.Y., Lee, B.Y., Yoo, H.D., and Lee, S.H. (2001). Evaluation of citric acid added cleaning solution for removal of metallic contaminants on Si water surface. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 18(3), 342-346.
- Ghosh, R., and Bhattacharjee, R. (2013). A review study on precipitated silica and activated carbon from rice husk. *Journal Chemical Engineering & Process Technology*, 4(4), 1-7.
- Gungor, A. (2010). Simulation of emission performance and combustion efficiency in biomass fired circulating fluidized bed combustors. *Biomass and Bioenergy*, 34, 506-514.
- Iler, R.K. (1979). Silica gels and powders. In: Iler, R.K. (Ed.), *The Chemistry of Silica* (pp.462-599). New York : Wiley.
- Kalapathy, U., Proctor, A., and Shultz, J. (2000). A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Bioresource Technology*, 73, 257-262.
- Kumoro, A.C., Sofiah., Aini, N., Retnowati, D.S., and Budiyati, C.S. (2010). Effect of temperature and particle size on the alkaline extraction of protein from chicken bone waste. *Reactor*, 13(2), 124–130.
- Kumoro, A.C., Tanjung, B.L.M., Utami, F.H., Retnowati, D.S., & Budiyati, C.S. (2012). Effect of pH and stirring speed on the collagenous protein extraction from chicken bone waste in well agitated extraction system. *Proceeding of International Conference on Chemical and Material Engineering*, Semarang, September 2012.

- Kumoro, A.C., D.A. Nasution, dan A. Cifriadi. (2013, Desember 12). *Pengembangan fluidized bed combustor dengan efisiensi pembakaran tinggi untuk recovery silika dari limbah sekam padi sebagai filler karet alami*. Laporan Akhir Penelitian Kerjasama Kemitraan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Nasional.
- ¹Kumoro, A.C., D.A. Nasution, dan A. Cifriadi. (2014, Desember 5). *Pengembangan potensi pemanfaatan silika amorf dari abu sekam padi sebagai filler karet alami*. Laporan Akhir Penelitian Kerjasama Kemitraan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Nasional.
- Kumoro, A.C., Nasution, D.A., Cifriadi, A., Purbasari, A., and Falaah, A.F. (2014). A new correlation for the prediction of minimum fluidization of sand and irregularly shape biomass mixtures in a bubbling fluidized bed. *International Journal of Applied Engineering Research*, 9(23), 21561-21573
- .Madhiyanon, T., Sathitruangsak, P., and Soponronnarit, S. (2010). Combustion characteristics of rice-husk in a short-combustion-chamber fluidized-bed combustor (SFBC). *Applied Thermal Engineering*, 30, 347-353.
- Madhiyanon, T., Sathitruangsak, P., and Soponronnarit, S. (2011). Co-firing characteristics of rice husk and coal in a cyclonic fluidized-bed combustor (-FBC) under controlled bed temperatures. *Fuel*, 90(6), 2103-2112.
- Martinez, J.D., Vasquez, T.G., Junkes, J.A., and Hotza, D. (2009). Characterization of ash from combustion of rice husk in a fluidized bed reactor. *Quimica Nova*, 32(5), 1110-1114.
- Martínez, J.D., Pineda, T., López, J.P., and Betancur, M. (2011). Assessment of the rice husk lean-combustion in a bubbling fluidized bed for the production of amorphous silica-rich ash. *Energy*, 36(6), 3846-3854.
- Marwati, T., Rusli, M.S., Noor, E., dan Mulyono, E. (2005). Pemurnian mutu minyak daun cengkeh melalui proses pemurnian. *Jurnal Pascapanen*, 2(2), 45-52.
- Pahlepi, R., Sembiring, S., dan Pandiangan, K.D. (2013). Pengaruh penambahan MgO pada SiO₂ berbasis silika sekam padi terhadap karakteristik komposit MgO-SiO₂ dan kesesuaiannya sebagai bahan pendukung katalis. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 1(2), 161-169.
- Paudel, B, and Feng, Z.G. (2013). Prediction of minimum fluidization velocity for binary mixtures of biomass and inert particles. *Powder Technology*, 237, 134–140.
- Rozainee, M., Ngo, S.P., Salena, A.A., and Tan, K.G. (2008). Fluidized bed combustion of rice husk to produce amorphous siliceous ash. *Energy Sustainable and Development*, 11, 33-42.
- Sembiring, S., Kusuma, V., Ridwan, I.M., & Halomoan, H. (2011). Sintesis karet alam berpenguat nano silika sekam padi sebagai bahan *rubber seal* tabung gas elpiji. *Prosiding Seminar Nasional Sains & Teknologi-IV*, Bandar Lampung, November 2011.
- Sembiring, S., dan Simanjutak, W. (2012). X-ray diffraction phase analyses of mullite derived from rice husk silica. *Makara Journal of Science*, 16(2), 77-82.
- Simorangkir, H., Irzaman, Darmasetiawan, H., Yani, A., Amas, dan Musiran. (2010). Kajian efisiensi energi tungku sekam berdasarkan jumlah, bentuk, dan ukuran sirip yang dipasang. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, Bandung, Mei 2010.
- Sulastri, S dan Kristianingrum, S. (2010). Berbagai macam senyawa silika : sintesis, karakterisasi, dan pemanfaatan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*, Yogyakarta, Mei 2010.
- Taib, M.R., Kumoro, A.C., & Tan, K.G. (2001). Fluidized bed technology : it's Challenges in industrial applications. *Proceeding of Symposium of Malaysian Chemical Engineers, The Institution of Malaysian Chemical Engineers*. Johor Bahru, September 2001.

Ugheoke, I.B. and Mamat, O. (2012). Review a critical assessment and new research directions of rice husk silica processing methods and properties. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 6(3), 430-448.