

KARAKTERISTIK SORPSI ISOTERMIS PADA APLIKASI SILIKA (SiO₂) SEBAGAI ANTICAKING AGENT TEPUNG BUMBU

CHARACTERISTIC OF SORPTION ISOTHERM IN SILICA DIOXIDE APPLICATION AS A SEASONED FLOUR ANTICAKING AGENT

Yosra Adi Putra^{1)*}, Indah Yuliasih²⁾, dan Sugiarto²⁾

¹Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia
E-mail: yosra.putra@gmail.com

²Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Makalah: Diterima 5 April 2018; Diperbaiki 10 Agustus 2018; Disetujui 23 Agustus 2018

ABSTRACT

Silica dioxide is one of anticaking agent as food additive. It can be encountered in nature, especially from rice husk ash waste. The objective of this study was to obtain rice husk-based silica and find out its characteristics, then apply it in seasoned flour to examine its characteristics during the storage period based on sorption isotherm. This research consisted of two stages. The first stage was silica isolation from rice husk, it was started by washing rice husk using 5% citric acid as pre-treatment followed by 800°C combustion for 30 minutes, then continued by analyzing the characteristics of both rice husk-based silica and synthetic silica as a comparison. Last stage was formulating seasoned flour with 0.5% and 1% both rice husk-based silica and synthetic silica as anticaking agent, followed by observing the phenomenon during storage period to illustrate its sorption isotherm curve. Characterizations using XRD analysis showed both synthetic silica and rice husk-based silica had amorphous structure. SEM-EDX analysis showed that there were 25.52% elements of C in rice husk-based silica and 10.23% of C and 1.29% of N formed in synthetic silica. Addition of both rice husk-based and synthetic silica onto seasoned flour indicated the occurrence increasing number of critical and equilibrium moisture content, water activity, and ash content. Based on characteristic of sorption isotherm curve, the 1% addition of rice husk-based silica on seasoned flour formulation gave optimum number of primary, secondary, and tertiary boundary water fractions of 7.35%, 20.04%, 70.18%, respectively.

Keywords: anticaking agent, rice husk, silica, silica dioxide and synthetic silica

ABSTRAK

Silika dioksida merupakan salah satu bahan *anticaking agent* pada bahan pangan. Silika dapat diperoleh dari alam salah satunya yaitu dari limbah abu sekam padi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan silika sekam padi dan karakteristiknya. Kemudian mengaplikasikannya pada tepung bumbu untuk mendapatkan karakteristik tepung bumbu selama penyimpanan berdasarkan kurva sorpsi isotermis. Tahapan penelitian ini dimulai dengan pencucian sekam padi menggunakan asam sitrat 5% sebagai pelakuan pendahuluan dilanjutkan dengan pembakaran pada suhu 800°C selama 30 menit. Kemudian dilakukan karakterisasi silika sekam padi dan silika sintetik sebagai pembanding. Terakhir, mengaplikasikan silika sekam padi dan silika sintetik masing-masing 0,5 dan 1% sebagai bahan *anticaking agent* pada tepung bumbu serta mengamati fenomena selama penyimpanan untuk mendapatkan kurva sorpsi isotermisnya. Berdasarkan hasil penelitian, karakteristik dengan X-ray difraktometer menunjukkan silika sekam padi dan silika sintetik mempunyai struktur amorf. Hasil analisis SEM-EDX menunjukkan adanya unsur karbon pada silika sekam padi dan silika sintetik sebesar 25,52 dan 10,23%, serta N sebesar 1,29% pada silika sintetik. Penambahan silika sekam padi dan silika sintetik (masing-masing, 0,5 dan 1%) menunjukkan fenomena peningkatan kadar air kritis, kadar air kesetimbangan, aktivitas air dan kadar abu. Berdasarkan pada karakteristik kurva sorpsi isotermis, diperoleh tepung bumbu terbaik yaitu pada perlakuan tepung bumbu dengan penambahan silika sekam padi 1% dengan nilai fraksi air terikat primer, sekunder dan tersier berturut-turut adalah 7,35, 20,04 dan 70,18%.

Kata kunci: amorf, *anticaking agent*, sekam padi, silika, silika dioksida dan silika sintetik

PENDAHULUAN

Anticaking agent (antikempal) adalah bahan tambahan pangan untuk mencegah mengempalnya produk pangan yang ditambahkan ke dalam pangan untuk memengaruhi sifat atau bentuk pangan (BPOM, 2013). Fungsi antikempal adalah sebagai

senyawa anhidrat yang kemampuannya mengikat air melalui pengikatan di permukaan (*surface adhesion*) yang sangat baik tanpa menjadi basah. Penambahan senyawa antikempal bertujuan untuk mencegah terjadinya penggumpalan dan menjaga agar bahan tersebut tetap dapat dituang (*free flowing*).

Beberapa bahan *anticaking* (antikempal) yang beredar di pasaran sesuai dengan peraturan BPOM (2013) yang biasa digunakan dalam bahan pangan diantaranya adalah kalsium karbonat, magnesium dioksida, kalsium silikat, silika dioksida halus. Silika atau silika dioksida (SiO_2) merupakan sumber bahan *anticaking* yang banyak digunakan pada produk pangan berupa bubuk salah satunya adalah tepung bumbu. Silika yang beredar di pasar berupa silika sintetik yang diperoleh dari bahan baku pasir atau kuarsa yang ketersediaannya berlimpah di alam, namun untuk memenuhi pasar kebutuhan dalam negeri silika masih diimpor (Nisak dan Munasir, 2013). Penggunaan silika sintetik dalam bahan makanan dapat memberikan efek buruk bagi tubuh dalam jangka panjang seperti penyakit bronkitis atau gangguan alat pernafasan dan penyakit paru-paru (Kirk dan Othmer, 1984).

Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika sintetik, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Kandungan silika abu sekam padi merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan abu bahan alam lainnya yakni sebesar 93,2% dan abu daun bambu 75,90-82,86% (Dwivedi *et al.*, 2006), silika ampas tebu 64,65% (Hanafi dan Nandang, 2010), abu cangkang kelapa sawit 81,30% (Pausa *et al.*, 2015). Hasil penelitian Umeda dan Kondoh (2010) yang melakukan pencucian dengan asam sitrat konsentrasi 5% dapat menghasilkan silika dengan kemurnian mencapai 99,77% dan bersifat amorf hingga temperatur pembakaran 1000°C.

Aplikasi silika sebagai bahan *anticaking agent* tepung bumbu dengan penambahan silika sekam padi dan silika sintetik pada konsentrasi 0,5 dan 1% dari berat tepung bumbu. Minimnya informasi mengenai aplikasi silika alami untuk menggantikan silika sintetik pada produk pangan menjadi dasar penelitian ini. Penyimpanan tepung bumbu dilakukan untuk mengetahui fenomena yang terjadi selama penyimpanan sehingga dapat diketahui pengaruh penambahan silika terhadap karakteristik tepung bumbu dengan kurva sorpsi isotermis. Isotermis sorpsi air (ISA) menggambarkan hubungan antara kelembaban relatif udara/aktivitas air dengan kadar air kesetimbangan bahan yang ditunjukkan dengan kurva sorpsi isotermis. Mathlouthi (2001) menyatakan bahwa penentuan kadar air, bagaimanapun keakuratan metode analisisnya, tidak cukup informatif dalam kaitannya dengan kestabilan produk pangan yang diteliti. Aktivitas air adalah pembawa informasi tambahan karena memperhitungkan ketersediaan air untuk reaksi degradasi. Pengetahuan tentang sorpsi isotermis suatu bahan pangan akan sangat membantu sekali dalam penentuan jenis pengemas yang

dibutuhkan dan memprediksikan karakteristik kondisi penyimpanan yang sesuai (Dwiyono, 2014).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan silika sekam padi dan karakteristiknya serta mengaplikasikan silika pada tepung bumbu dan mendapatkan karakteristik tepung bumbu selama penyimpanan berdasarkan kurva sorpsi isotermis.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah limbah sekam padi (*Oryza sativa* L.) yang diperoleh dari penggilingan padi di Lembur Leutik, Desa Sawah Baru, Dramaga. Bahan pembuatan tepung bumbu yaitu tepung terigu kadar protein rendah. Bahan untuk keperluan analisa yaitu asam sitrat, air, akuades, larutan garam jenuh (lihat pada Tabel 3), aluminium foil, kertas saring, silika sintetik merk dagang *Tixosil*.

Peralatan yang digunakan adalah tanur (*furnace select-horn*), mortar, cawan porselin, cawan aluminium, ayakan 80 mesh, termometer, a_w -meter, pengaduk magnet, neraca analitik, oven, desikator dan desikator modifikasi, cawan plastik, *hot plate*, gelas piala, gelas ukur, gegap, erlenmeyer, blender dan wajan.

Tahapan Penelitian

Persiapan Bahan Baku

Bahan sekam padi diperoleh dari penggilingan padi di Desa Lembur Leutik-Sawah Baru, Balumbang Jaya Dramaga. Sekam padi yang diperoleh kemudian dilakukan proses penimbangan untuk mengetahui beratnya, dilanjutkan dengan proses pencucian, dan pengeringan dengan sinar matahari. Pencucian dilakukan sebanyak 4 kali sampai air cucian menjadi bersih, tujuan pencucian ini adalah untuk menghilangkan zat-zat pengotor berupa debu dan pasir yang menempel pada sekam padi. Pengeringan dengan sinar matahari selama 15 jam untuk menurunkan kadar air mencapai $\pm 14\%$. Tujuan pengeringan adalah untuk menghindari kerusakan selama penyimpanan dan mempermudah pada proses lanjutannya.

Isolasi Silika Dengan Menggunakan Asam Sitrat 5%

Sekam padi sebanyak 30 g dimasukkan ke dalam 500 mL larutan asam sitrat 5% di dalam erlenmeyer 1000 mL. Konsentrasi dan lama waktu pengadukan merupakan parameter utama untuk menghilangkan kandungan logam dalam sekam padi. Hidrolisis selulosa dan hemiselulosa juga tergantung pada hal tersebut. Kemudian campuran larutan tersebut dilakukan pengadukan dengan menggunakan *stirrer* di atas *hotplate* dengan kecepatan pengadukan 960 rpm pada suhu 80°C selama 60 menit. Setelah proses pencucian asam selesai, kemudian dibilas dengan air pada suhu 50°C selama 15 menit. Begitu juga dengan pengaduk,

lakukan pembilasan dengan air dengan kecepatan pengadukan dibawah 960 rpm. Proses pembilasan dilakukan dengan tujuan agar pH bahan dan peralatan (batang pengaduk) kembali normal (± 7). Selanjutnya, bahan dikeringkan pada suhu 100°C selama 60 menit. Dilanjutkan dengan pengarangan pada 250°C selama 15-20 menit untuk menghilangkan api serta asap pada saat pembakaran di dalam *furnace*. Arang yang dihasilkan kemudian diabukan pada suhu 800°C selama 30 menit di dalam *furnace*, kemudian didinginkan dan dilakukan penggerusan dengan mortar serta sehingga dihasilkan silika sekam padi. Untuk diketahui, suhu 800°C digunakan untuk menghindari terjadinya kristalisasi pada silika amorf yang dihasilkan. Silika yang dihasilkan di giling menggunakan mortar untuk memperkecil ukuran partikelnya, selanjutnya pengayakan 80 mesh untuk menyeragamkan ukuran sehingga dapat digunakan sebagai *anticaking* pada tepung bumbu.

Karakterisasi Silika

Silika yang diperoleh dari isolasi asam sitrat 5% sebagai perlakuan awal dilakukan karakterisasi terhadap kadar air (% bk), aktivitas air (a_w), rendemen (% b/b), visualisasi (dokumentasi) terhadap warna, karakterisasi difraktometer sinar-X (XRD) untuk mengetahui informasi tentang perbandingan antara kristalinitas dan amorf material, karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectrometry*) untuk memberikan informasi secara langsung tentang topografi, morfologi, komposisi serta informasi susunan atom penyusunan sampel.

Aplikasi Silika sebagai Bahan *Anticaking Agent* pada Tepung Bumbu

Aplikasi silika sekam padi yang diperoleh dari hasil penelitian ditambahkan ke tepung bumbu sebagai bahan *anticaking agent*. Pembuatan tepung bumbu dilakukan dengan pengadukan secara manual yaitu mencampurkan bahan secara perlahan sampai merata. Proses pengadukan dilakukan dengan mendahulukan mencampurkan bahan-bahan yang memiliki rasa dan bau yang lebih tajam. Komposisi bahan pembuatan tepung bumbu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi bahan pembuatan tepung bumbu dalam 100 g bahan

Bahan	Persentase (%)	Jumlah (g/100 g bahan)
Bawang putih bubuk	0,97	0,97
Kaldu ayam bubuk	1,02	1,02
Gula pasir	0,51	0,51
Garam	2,30	2,30
Merica bubuk	1,30	1,30
Jinten bubuk	0,51	0,51
Paprika bubuk	0,48	0,48
Tepung terigu	92,41	92,41
Jumlah	100,00	100,00

Pada penelitian ini perlakuan yang diujicobakan adalah jenis silika pada tepung bumbu yaitu silika sekam padi dan silika sintetis, dengan konsentrasi silika 0,5 dan 1%, tepung bumbu tanpa penambahan silika, dan tepung bumbu komersial sebagai kontrol. Perlakuan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Selanjutnya, tepung bumbu ini dilakukan penyimpanan untuk mendapatkan kurva isoteremis sorpsi air (ISA). Adapun parameter yang diamati terdiri dari kadar air awal, aktivitas air, kadar air kritis, kadar air kesetimbangan. Pembuatan kurva sorpsi isoteremis dilakukan penyimpanan sampel di dalam desikator yang telah diisi dengan larutan garam jenuh dengan berbagai jenis a_w yang dilihat pada Tabel 3. Pengukuran berat sampel yang diletakkan di dalam desikator dilakukan dengan penimbangan bahan secara berkala sampai berat konstan. Setelah berat mencapai konstan maka dilakukan pengukuran kadar air kesetimbangan bahan dengan menggunakan metode oven.

Penentuan kurva ISA dilakukan dengan cara adsorpsi, dimana proses adsorpsi merupakan proses penyerapan uap air oleh bahan kering sehingga bahan tersebut mencapai kesetimbangan ditandai dengan berat yang konstan. Moreira *et al.*, (1997) menyatakan adsorpsi adalah proses apabila sampel menyerap uap air dari atmosfer yang mempunyai RH tinggi. Dari hasil penelitian dapat ditentukan daerah air terikat (primer, sekunder dan tersier).

Tabel 2. Perlakuan aplikasi silika sebagai bahan *anticaking* tepung bumbu

Perlakuan	Keterangan
Tanpa silika	Tepung bumbu tanpa penambahan silika
Komersial	Tepung bumbu komersial sebagai kontrol
Sintetik 0,5%	Tepung bumbu dengan penambahan silika sintetis 0,5%
Sintetik 1%	Tepung bumbu dengan penambahan silika sintetis 1%
Sekam 0,5%	Tepung bumbu dengan penambahan silika sekam padi 0,5%
Sekam 1%	Tepung bumbu dengan penambahan silika sekam padi 1%

Tabel 3. Larutan garam jenuh, a_w , dan RH dalam desikator

Garam	Aktivitas Air (a_w)	RH dalam desikator
LiCl	0,11	11
CH ₃ COOK	0,22	22
MgCl	0,32	32
K ₂ CO ₃	0,44	44
NaBr	0,56	56
NaNO ₂	0,64	64
NaCl	0,75	75
KCl	0,84	84
K ₂ SO ₄	0,97	97

Sumber : Iskandar (2014)

Untuk mendapatkan kadar air kesetimbangan dilakukan dengan penyimpanan di dalam desikator pada masing-masing kondisi a_w dan desikator disimpan di dalam inkubator pada suhu 30°C, kemudian melakukan pengamatan selama penyimpanan dengan cara penimbangan berat bahan secara berkala. Kadar air kesetimbangan (M_e) adalah kadar air dari suatu bahan pangan yang berkesetimbangan pada suhu dan kelembaban tertentu dalam periode waktu tertentu (Brooker *et al.*, 1992).

Dari penyimpanan di dalam *chambers* yang berisi larutan garam jenuh dari a_w terendah sampai dengan a_w paling tinggi, berbanding lurus terhadap kadar air yang dihasilkan. Semakin tinggi a_w dari lingkungan penyimpanan maka terjadi peningkatan kadar air tepung bumbu. Pada larutan garam LiCl dan CH₃COOK terjadi penurunan kadar air selama penyimpanan dikarenakan a_w lingkungan lebih rendah dibandingkan a_w tepung bumbu sehingga terjadi pelepasan air dari bahan ke lingkungan. Kondisi lingkungan (larutan garam) MgCl, K₂CO₃, NaBr, NaNO₂ tidak jauh berbeda dengan tepung bumbu menyebabkan proses pelepasan atau penyerapan air terjadi sebih cepat sehingga proses kesetimbanganpun lebih cepat. Pada lingkungan dengan a_w yang relatif tinggi proses penyerapan air

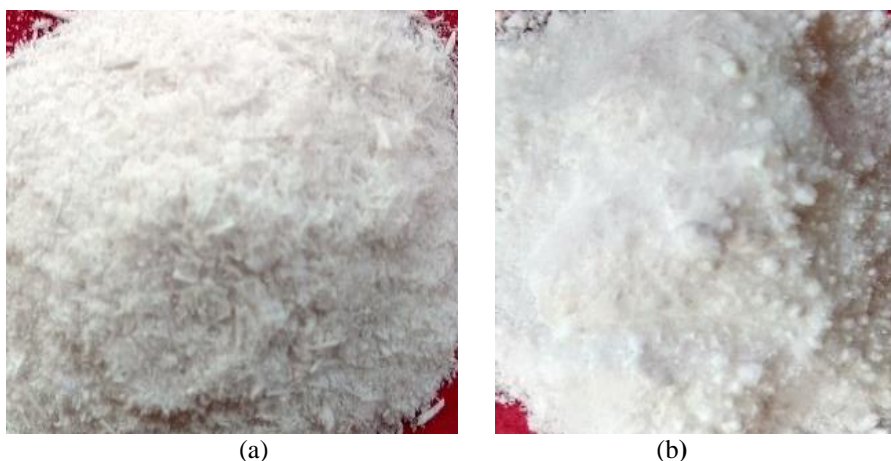
oleh tepung bumbu menjadi lebih lambat. Tren peningkatan kadar air pada masing-masing perlakuan sama-sama mengalami peningkatan, hal ini disebabkan oleh proses penyerapan/pelepasan air dari tepung bumbu ke lingkungan untuk mencapai keadaan setimbangnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Silika

Berdasarkan hasil isolasi silika sekam padi maka didapatkan silika sekam padi berwarna putih namun buram. Warna buram ini disebabkan oleh kandungan karbon yang tinggi pada sekam padi. Silika sekam padi yang telah diisolasi dan silika sintetik sebagai perbandingan disajikan pada Gambar 1. Gambar 1 dapat dilihat warna silika sekam padi lebih buram dibandingkan silika sintetik. Hal ini disebabkan karena dalam proses pengolahan silika sekam padi tidak dilakukan proses *bleaching*. Selain itu, warna kusam pada silika sekam padi disebabkan oleh ion-ion pengotor yang masih terdapat pada abu sekam padi, ion pengotor ini mengikat sisa karbon dalam abu sekam padi sehingga karbon tidak dapat bersentuhan langsung dengan udara sehingga karbon tidak dapat teroksidasi (Krishanaro, 2001). Perbandingan karakteristik silika sekam padi dan silika sintetik disajikan pada Tabel 4.

Pada Tabel 4 dapat dilihat karakteristik silika sekam padi dan silika sintetik. Kadar air silika sekam padi lebih kecil dibandingkan dengan silika sintetik, masing-masing yaitu 2,31 (% bk) dan 5,42 (% bk), begitu juga dengan nilai aktivitas air (a_w), masing masing 0,43 dan 0,52. Hal ini disebabkan karena pembakaran sekam padi pada suhu tinggi, dimana pada pembakaran pada suhu tinggi akan mengakibatkan terjadinya kehilangan air akibat penguapan, sedangkan silika sintetik telah diproduksi lebih lama sehingga besar kemungkinan silika menyerap air dari lingkungan disekitarnya.



Gambar 1. Silika sekam padi hasil penelitian (a) dan silika sintetik (b)

Hubungan kadar air dengan aktivitas air (a_w) ditunjukkan dengan kecenderungan bahwa semakin tinggi kadar air maka semakin tinggi pula nilai a_w nya. Kadar air dinyatakan dalam persen (%) pada kisaran skala 0-100, sedangkan nilai a_w dinyatakan dalam angka desimal pada kisaran skala 0,0-1,0 (Legowo dan Nurwanto, 2004). Aktivitas air atau *water activity* (a_w) sering disebut juga air bebas, karena aktivitas reaksi-reaksi kimiawi terjadi pada daerah ini. Kandungan silika sekam padi hasil penelitian sebesar 18,53% lebih rendah dibandingkan dengan hasil yang diperoleh Sembiring dan Simanjuntak (2015) yaitu 20,20%, dimana metode alkalis yang digunakan dalam proses isolasi sekam padi. Kemungkinan hasil rendemen yang lebih rendah ini terjadi akibat proses pencucian pada perlakuan awal sehingga beberapa bagian sekam padi terbuang.

Tabel 4. Karakteristik silika sekam padi dan silika sintetik

Komponen	Silika sekam padi	Silika sintetik
Kadar air (% bk)	2,31	5,42
Kadar abu (%)	-	-
Nilai a_w	0,43	0,52
Crystallinity (%)	61,10	55,80
Amorphous (%)	38,90	44,20
Rendemen (%)	18,53	-

Karakterisasi dengan difraksi sinar-X memberikan informasi mengenai struktur padatan yang dianalisis berupa pola difraksi sesuai dengan tingkat kristalinitasnya. *X-ray diffraction* (XRD) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur atom dalam material tanpa menghancurkan material tersebut. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi (hkl). Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan data standar difraksi sinar-X yang telah tersedia hampir untuk semua jenis

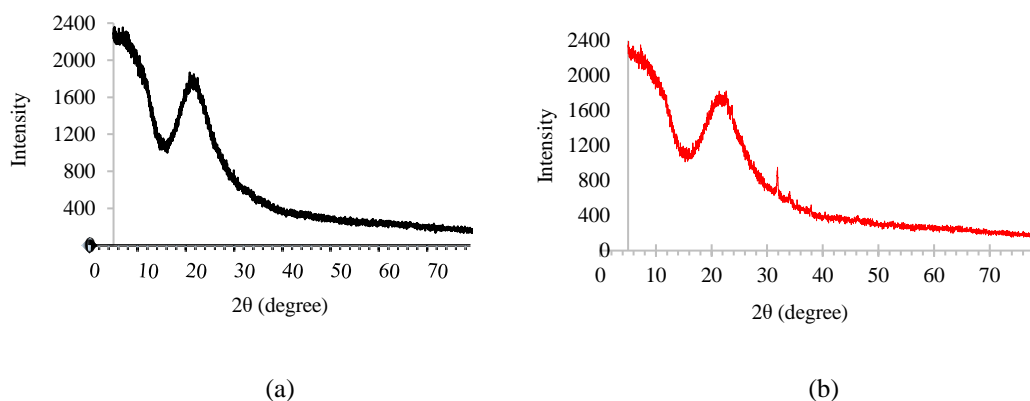
material. Pola difraksi sinar-X pada silika sekam padi dan silika sintetik dapat dilihat pada Gambar 2.

Harsono (2002) menyatakan silika sekam padi bersifat amorf. Sifat amorf silika sekam padi dianalisa menggunakan XRD memiliki pola difraksi yang sangat identik dengan silika sintetik. Sampel silika sekam padi yang menunjukkan bukit (*hump*) pada 2-theta 21-23°, hal yang sama juga terlihat pada silika sintetik namun pada silika sintetik terdapat puncak yang lain pada 2-theta 31°. Puncak ini 2-Theta 31° pada silika sintetik ini mengindikasikan ada komposisi pengotor yaitu Na. Bukit yang landai pada grafik menunjukkan bahwa pada sekam padi yang diberi perlakuan awal dengan asam sitrat dan dibakar pada temperatur 880°C, memiliki struktur padatan amorf (Krishnarao *et al.*, 2001). Tidak terjadi perubahan struktur amorf silika menjadi kristalin pada proses pembakaran hingga 800°C. Silika sekam padi yang diperoleh membentuk bukit yang lebih curam dibandingkan silika sintetik.

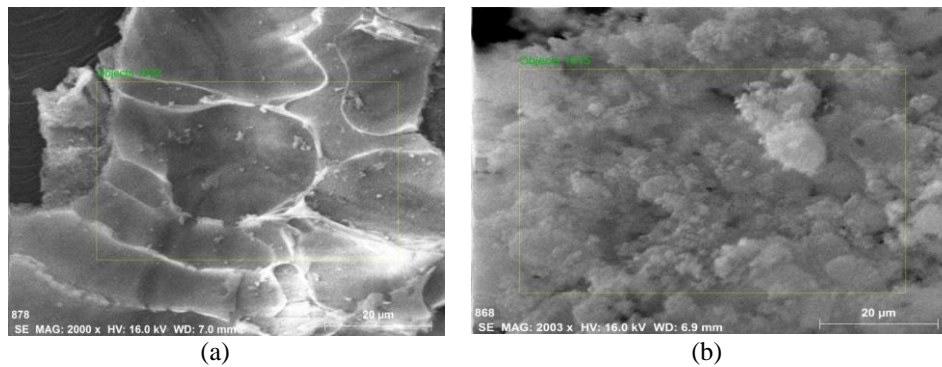
Seperti yang diharapkan, hasil analisis XRD menunjukkan bentuk pola amorf. Berdasarkan karakteristik struktur amorf menunjukkan bahwa silika sekam padi merupakan material berpori, sehingga dapat dimanfaatkan untuk aplikasi yang memerlukan material berpori diantaranya sebagai adsorben, bahan filter, katalis, adhesif dan silika gel (Sembiring dan Simanjuntak, 2015).

SEM-EDX merupakan alat yang memiliki kemampuan memberikan informasi secara langsung tentang topografi (teksture permukaan sampel), morfologi (bentuk dan ukuran), komposisi dan informasi kristalografi (unsur dan susunan atom penyusunan sampel). Hasil analisis SEM-EDX terhadap silika sekam padi dan silika sintetik dengan perbesaran 2000 kali dapat dilihat pada Gambar 3.

Hasil analisis SEM-EDX ini menunjukkan adanya perbedaan yang jelas antara silika sekam padi dan silika sintetik. Silika sekam padi memperlihatkan ukuran partikel yang lebih besar, tidak merata dan membentuk gumpalan yang mengindikasikan ukuran partikel yang beragam. Diantara gumpalan-gumpalan yang terbentuk ada celah ruang yang cukup lebar.



Gambar 2. Spektrum difraksi sinar-X (XRD): silika sekam padi (a) dan silika sintetik (b)



Gambar 3. Morfologi permukaan pada: silika sekam padi (a), silika sintetik (b)

Hal yang sama juga dijelaskan oleh Sembiring dan Simanjuntak (2015) bahwa permukaan partikel silika tidak merata dan terdiri dari gumpalan (*cluster*), yang mengindikasikan adanya ukuran butir yang cukup beragam dengan distribusi yang tidak merata pada permukaan. Pemisahan antara gumpalan juga terlihat dengan cukup jelas, yakni dalam bentuk *microcracking* yang terdapat di antara *cluster*. Analisis dengan perbesaran yang lebih besar menunjukkan bahwa *cluster* sebenarnya terbentuk dari partikel dengan ukuran yang relatif sama dengan distribusi yang relatif merata pula, namun disela oleh *microcracking* yang cukup lebar dan dalam. Hal yang berbeda ditunjukkan oleh silika sintetik dimana sebaran partikel yang lebih merata dan seragam. Silika sintetik memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dan sangat halus, putih, dan ringan sehingga terbentuk struktur morfologi permukaan yang lebih merata.

Komposisi unsur hasil pengujian dengan EDX menunjukkan dengan jelas kehadiran komposisi kimia karbon (C), silikon (Si) dan Oksigen (O₂) baik pada silika sintetik maupun pada silika sekam padi. Namun, didalam silika sintetik juga ditemukan ada unsur lain yaitu natrium (Na) yang merupakan jenis pengotor ataupun sisa dari proses sintesis. Biasanya bahan pengotor terdapat dalam jumlah yang sedikit seperti yang ditunjukkan pada unsur Na sebesar 1,29%. Proses pencucian pada perlakuan awal sangat mempengaruhi terhadap hasil akhir, dimana pencucian menggunakan asam sitrat 5% untuk menghasilkan kemurnian silika yang baik. Umeda dan Kondoh (2010) memaparkan bahwa semakin tinggi suhu pencucian dengan asam sitrat 5% akan meningkatkan kemurnian silika, pada suhu 80°C dihasilkan kemurnian silika mencapai 99,77%.

Pada penelitian ini juga menggunakan suhu 80°C namun menghasilkan kemurnian silika yang lebih rendah yaitu 54,30%. Hal ini disebabkan oleh kadar karbon yang relatif lebih tinggi. Komposisi karbon (C) terdapat dalam kadar yang relatif tinggi, dikarenakan sekam padi merupakan bahan alami yang terdapat di alam mengandung karbon. Sekam padi yang dibakar akan menghasilkan abu sekam

dengan silika berbentuk amorf dan biasanya mengandung 85-90% silika dan 10-15% karbon (Coniwanti *et al.*, 2008).

Menurut Sembiring dan Simanjuntak (2015) menyatakan bahwa kehadiran ketiga elemen karbon, silikon, dan oksigen menunjukkan formasi karbon dan silika (SiO₂) yang mengindikasikan transformasi zat organik karbon di dalam sekam padi menjadi elemen karbon namun belum bereaksi dengan silika, karena reaksi antara silika dan karbon biasanya terjadi pada suhu tinggi (>1400°C) yang menghasilkan SiC (silika karbida) yang diketahui sebagai fasa kristalin. Tabel 5 mendukung data hasil pengujian berdasarkan X-ray difraktometer (Gambar 2), dari difraktogram terlihat ada ion pengotor ditandai dengan adanya puncak pada 2 theta 31,76° pada silika sintetik, yang terbaca pada uji EDX adalah pengotor berupa Na sebesar 1,29%. Hasil spektrum EDX silika sekam padi dan silika sintetik dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 5. Komposisi unsur hasil analisis EDX silika

Unsur	Persentase (%)	
	Silika sekam padi	Silika sintetik
Silika	30,32	35,25
Oksigen	44,15	53,22
Karbon	25,52	10,23
Natrium	-	1,29
Kemurnian	54,3	68,58

Hasil spektrum EDX pada Gambar 4 memperlihatkan dengan jelas komposisi pada masing-masing silika. Adanya kandungan karbon menyebabkan menurunnya kemurnian silika yang dihasilkan. Kemurnian silika sekam padi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan hasil dari referensi yang mencapai 99,77%. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh jenis sekam padi yang digunakan, karena masing-masing sekam padi memiliki kandungan unsur yang berbeda-beda, kandungan tersebut juga disebabkan oleh keadaan geografis wilayah tersebut dan varietas padinya. Silika yang baik adalah silika yang memiliki pengotor paling sedikit atau tanpa pengotor. Salah satunya adalah cara mereduksi pengotor adalah

dengan asam sitrat. Diketahui bahwa gugus karboksil akan dengan mudah bereaksi dengan elemen logam. Gugus karboksil tersebut akan mengikat logam alkali sehingga kandungan logam tersebut dapat berkurang atau hilang. Pengotor yang umum ditemukan pada senyawa organik yang mengandung Na dan K yang dapat menurunkan titik leleh silika sehingga mempercepat perubahan menjadi fasa kristalin (Umeda dan Kondoh, 2008). Perlakuan dengan menggunakan asam kuat seperti H₂SO₄, HNO₃ dan HCl akan sangat efektif menurunkan mineral yang terkandung di dalam sekam padi (Chandrasekhar, 2006) namun penggunaan asam kuat tidak disarankan karena bersifat korosif dan mahal.

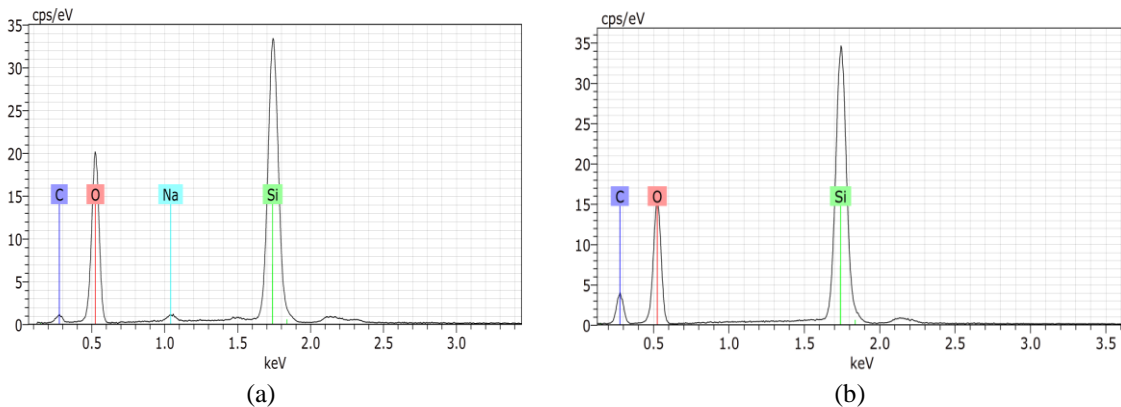
Aplikasi Silika sebagai Anticaking Agent pada Tepung Bumbu

Karakteristik Tepung Bumbu

Tepung bumbu yang telah diformulasi kemudian dilakukan karakterisasi yang terdiri dari pengujian terhadap aktivitas air (a_w), kadar air (% bk), kadar abu (%) dan kadar air kritis. Data hasil pengamatan disajikan pada Tabel 6.

Berdasarkan hasil penelitian (Tabel 6) diketahui bahwa nilai a_w yang dihitung menggunakan a_w-meter, tidak terjadi perubahan terhadap nilai a_w setelah ditambahkan silika sekam padi maupun silika sintetik. Hal ini disebabkan oleh a_w silika yang hampir mendekati nilai a_w pada

tepung bumbu, sehingga dengan sedikit penambahan silika tidak memberikan pengaruh terhadap a_w tepung bumbu. Sementara itu penambahan silika memberikan pengaruh terhadap kadar air kritis dan persentase kadar abu. Penambahan silika sekam padi dan silika sintetik pada masing-masing konsentrasi 0,5 dan 1% memperlihatkan terjadinya kenaikan nilai kadar air kritis pada tepung bumbu. Tepung bumbu tanpa penambahan silika mempunyai persentase kadar air kritis sebesar 12,46%, setelah penambahan silika dari masing-masing konsentrasi mengalami peningkatan kadar air kritis mencapai rentang 14,43-14,96%, ini memperlihatkan ada pengaruh terhadap peningkatan kadar air kritis pada masing-masing formula. Kadar abu pada masing-masing formula juga dilakukan pengujian, dengan penambahan silika baik dari sekam padi maupun silika sintetik menunjukkan terjadi peningkatan kadar abu, hal ini dikarenakan silika yang ditambahkan pada bahan terbaca sebagai abu pada tepung bumbu. Berdasarkan SNI, dipaparkan bahwa persentase maksimum kadar abu yang diperbolehkan maksimal 1,5% (b/b), sehingga dari hasil penelitian ini persentase abu melebihi ketentuan SNI. Kemungkinan abu tinggi pada bahan akibat bahan-bahan tambahan pada formulasi. Sebagai perbandingan Sianipar (2008) juga memperoleh hasil kadar abu pada penelitian tentang tepung bumbu instan *binthe biluhuta* yang relatif tinggi yaitu sebesar 14,06%.



Gambar 4. Hasil spektrum EDX pada: silika sekam padi (a) dan silika sintetik (b)

Tabel 6. Nilai a_w, kadar air awal (% bk), kadar abu (%) dan kadar air kritis (% bk) pada berbagai perlakuan tepung bumbu

Perlakuan	Aktivitas Air (a _w)	Kadar air awal (% bk)	Kadar Abu (%)	Kadar air kritis (% bk)
Tanpa silika	0,53	6,06	3,84	12,47
Komersial	0,47	7,25	6,84	13,08
Sintetik 0.5%	0,53	5,83	4,38	14,43
Sintetik 1%	0,53	5,85	4,55	14,74
Sekam 0,5%	0,54	5,86	4,02	14,62
Sekam 1%	0,54	6,06	4,06	14,96

Isotermis Sorpsi Air (ISA) Tepung Bumbu

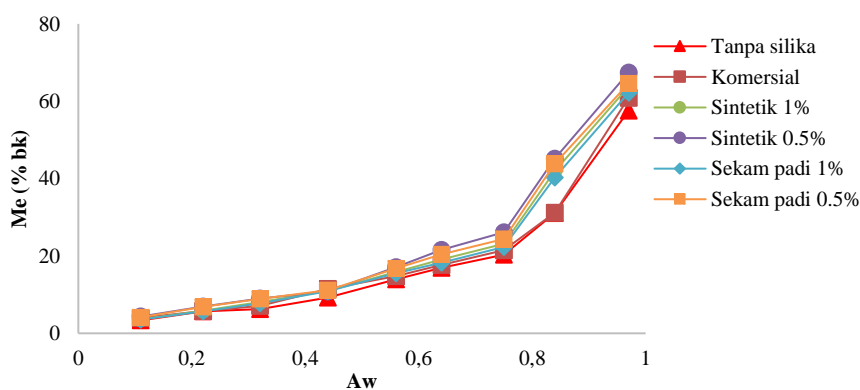
Tabel 7 merupakan data hasil penentuan kadar air kesetimbangan dari masing-masing perlakuan pada suasana atmosfer dengan a_w tertentu yang timbul dari penambahan larutan garam jenuh spesifik. Dari penyimpanan di dalam *chambers* yang berisi larutan garam jenuh dari a_w terendah sampai dengan a_w paling tinggi, berbanding lurus terhadap kadar air yang dihasilkan. Semakin tinggi a_w dari lingkungan penyimpanan maka terjadi peningkatan kadar air tepung bumbu. Kadar air kesetimbangan pada Tabel 7 adalah hasil penelitian dilakukan dengan cara mengkondisikan semua formula tepung bumbu di dalam beberapa larutan garam jenuh yang memiliki nilai RH berbeda-beda. Pada larutan garam LiCl dan CH_3COOK terjadi penurunan kadar air selama penyimpanan dikarenakan a_w lingkungan lebih rendah dibandingkan a_w tepung bumbu sehingga terjadi pelepasan air dari bahan ke lingkungan. Kondisi lingkungan (larutan garam) MgCl, K_2CO_3 , NaBr, $NaNO_2$ tidak jauh berbeda dengan tepung bumbu menyebabkan proses pelepasan atau penyerapan air terjadi lebih cepat sehingga proses kesetimbanganpun lebih cepat. Pada lingkungan dengan a_w yang relatif tinggi, proses penyerapan air oleh tepung bumbu menjadi lebih

lambat. Tren peningkatan kadar air pada masing-masing perlakuan sama-sama mengalami peningkatan, hal ini disebabkan oleh proses penyerapan/pelepasan air dari tepung bumbu ke lingkungan untuk mencapai keadaan setimbangnya. Umumnya, efek suhu pada sorpsi isotermis sangat penting mengingat makanan terkena berbagai suhu selama penyimpanan dan pengolahan, dan aktivitas air berubah sesuai dengan kenaikan suhu pada kadar air yang sama (Goula *et al.* 2007). Dengan ditentukannya kadar air kesetimbangan maka dapat ditentukan kurva isotermis sorpsi air pada masing-masing perlakuan tepung bumbu. Kurva sorpsi isotermis tepung bumbu dapat dilihat pada Gambar 5.

Menurut Rahayu dan Arpah (2003) penggunaan 4-6 jenis garam sudah cukup baik dalam menggambarkan kurva sorpsi isotermis suatu produk jika nilai RH yang dipilih tidak terlalu berhimpit. Kurva sorpsi isotermis berbeda-beda dan khas pada setiap bahan pangan, namun pada umumnya berbentuk sigmoid. Bentuk sigmoid ini disebabkan karena pada bahan makanan terdiri dari campuran beberapa komponen (heterogen) (Syarief dan Halid, 1993 dalam Sianipar 2008).

Tabel 7. Kadar air kesetimbangan masing-masing perlakuan pada larutan garam jenuh

a_w	Kadar Air Kesetimbangan (% bk)					
	Tanpa silika	Komersial	Sintetik 0,5%	Sintetik 1%	Sekam padi 0,5%	Sekam padi 1%
0,11	3,34	3,98	4,34	3,59	4,14	3,55
0,22	5,64	5,75	6,95	5,83	6,87	5,71
0,32	6,27	7,07	8,97	8,07	8,93	7,77
0,44	9,20	11,50	10,82	10,98	11,12	10,91
0,56	13,97	14,78	17,13	15,89	16,78	15,51
0,64	16,94	17,67	21,53	19,08	20,42	18,22
0,75	20,31	21,52	26,09	23,12	24,35	22,34
0,84	31,08	31,18	45,19	41,89	43,79	40,25
0,97	57,54	60,89	67,43	63,79	64,58	62,18



Gambar 5. Kurva sorpsi isotermis tepung bumbu: tanpa penambahan silika (a), komersial (b), penambahan silika sintetik 0,5% (c), penambahan silika sintetik 1% (d), penambahan silika sekam padi 0,5% (e), penambahan silika sekam padi 1% (f).

Kurva sorpsi isoteremis yang dihasilkan pada masing-masing perlakuan tepung bumbu tidak jauh berbeda. Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bentuk kurva sigmoid dari masing-masing perlakuan walaupun tidak berbentuk sigmoid sempurna, hal ini dipengaruhi oleh pola penyerapan dari masing-masing bahan tersebut. Terjadinya peningkatan kadar air yang lebih tinggi pada penambahan silika dibandingkan dengan tepung bumbu tanpa penambahan silika. Namun, secara umum pada a_w di bawah 0,7 tidak terjadi penyerapan air atau hanya terjadi sedikit penyerapan air oleh bahan. Begitu juga pada tepung bumbu memperlihatkan pola sorpsi isoteremis yang memperlihatkan patahan tajam pada a_w 0,7-0,8, pola grafik menunjukkan patahan lebih tajam terjadi pada tepung bumbu dengan penambahan silika dibandingkan dengan tanpa penambahan silika, dimana silika adalah bahan yang mampu menyerap air dengan baik. Akan tetapi a_w di atas 0,8 terjadi penyerapan air yang sangat signifikan bahkan pada a_w di atas 0,9 kadar air kesetimbangan sebetulnya tidak pernah terjadi. Menurut Bell dan Labuza (2000), pengikatan air melalui jembatan hidrogen hanya terjadi pada gugus hidroksil bebas yang terdapat di permukaan kristal saja.

Secara umum air pada bahan pangan merupakan air bebas dan terikat. Air terikat terdiri dari tiga fraksi yaitu fraksi air terikat primer, sekunder dan tersier. Air terikat primer (ATP) merupakan air yang terikat pada bahan dengan ikatan yang sangat kuat dengan kelembaban relatif yang rendah. Kisaran nilai a_{wp} yang diperoleh dari penelitian ini berada pada 0,17-0,25 dengan kisaran kadar air 6,86-7,49 (% bk), hasil ini sesuai dengan kisaran umum nilai a_w pada berbagai jenis bahan pangan. Aguilera dan Stanley (1999) menyatakan bahwa air terikat primer pada daerah ini adalah air yang terikat sangat kuat pada bagian polar molekul air oleh ikatan hidrogen. Air ini pada umumnya berada pada kisaran a_w 0,2-0,4.

Air terikat sekunder (ATS) yaitu air yang terletak di lapisan lebih luar dari posisi air terikat primer dengan kelembaban yang lebih tinggi. Fraksi air terikat sekunder (ATS) tepung bumbu dibatasi oleh M_s yaitu antara 17,97-23,03 (% bk) yang bertepatan dengan a_{ws} antara 0,68-0,69. Tepung bumbu tanpa penambahan silika dibatasi oleh M_s sebesar 17,97 (% bk), dengan penambahan silika sintetik ataupun silika sekam padi sebagai *anticaking agent* tidak menyebabkan terjadinya peningkatan M_s dengan a_{ws} yang relatif sama yaitu 0,69. Kapasitas air terikat tepung bumbu dapat di lihat pada Gambar 6.

Penggabungan persamaan regresi semilogaritmik pada Gambar 6 menghasilkan titik potong kedua yang merupakan batas fraksi air kedua dan ketiga (sekunder dan tersier) dan nilai titik potong tersebut merupakan kadar air kritis kedua (M_s). Penggabungan kedua persamaan tersebut

menghasilkan batas nilai a_w antara daerah fraksi ATP dan ATS yaitu aktivitas air kritis pertama (ap). Batas a_w antara daerah fraksi ATS dan ATT merupakan a_w kritis kedua (as). Ketika proses pengeringan tidak mencapai nilai M_s , maka pada saat penyimpanan masih terjadi pertumbuhan mikroorganisme dalam produk tersebut. Di pihak lain proses pengeringan melewati nilai M_s , akan menyebabkan kerusakan fisik pada produk tersebut. Penambahan silika dapat meningkatkan batas air terikat sekunder tepung bumbu.

Walaupun batas air terikat sekunder lebih besar namun produk masih bisa mengalir pada saat dituang (*free flowing*). Harapannya dengan penambahan silika dapat memperlambat penggumpalan tepung bumbu walaupun kadar air pada tepung bumbu tersebut relatif tinggi. Daerah air terikat tersier merupakan daerah fraksi air terikat lemah dan mempunyai sifat mendekati sifat air bebas. Pada daerah ini, reaksi deteorisasi terutama disebabkan oleh pertumbuhan mikroorganisme yaitu jamur (a_w 0,80), khamir (a_w 0,87) dan bakteri patogen (a_w 0,91) (Sianipar, 2008). Berikut ini ditampilkan nilai kadar air pada tepung tepung bumbu hasil penelitian.

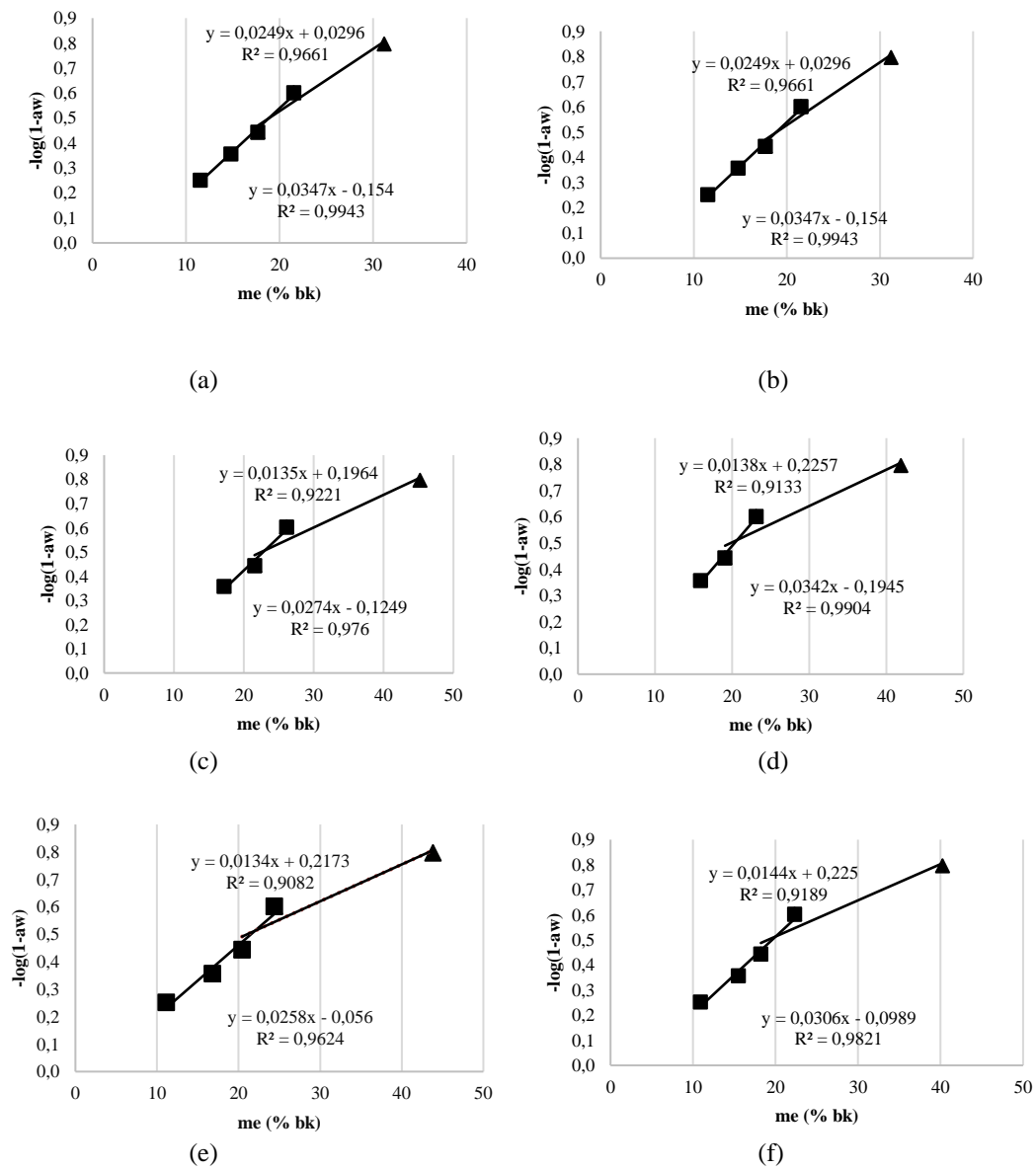
Besarnya fraksi air terikat primer (ATP) adalah sama dengan batas air terikat primer (M_p) atau disebut dengan zona 1, besarnya fraksi air terikat sekunder (ATS) adalah selisih antara M_s atau disebut dengan zona 2, dan M_p dan besarnya fraksi air terikat tersier (ATT) sama dengan selisih antara M_t dengan M_s atau zona 3. Zona ini sesuai dengan pernyataan Heldman dan Lund (1992) yang menyatakan bahwa kurva ISA dapat dibagi menjadi tiga daerah (zona) yaitu; daerah A, daerah B, dan daerah C. Setiap zona mempunyai ciri khas dan karakteristiknya masing-masing. Susunan tiga daerah fraksi air terikat pada tepung bumbu dapat dilihat pada Gambar 7.

Energi ikatan pada air terikat primer lebih tinggi dibandingkan air terikat sekunder maupun air terikat tersier sehingga kebutuhan energi lebih besar dalam penguapan air terikat primer. Dengan menentukan kurva sorpsi isoteremis dapat memprediksikan karakteristik kondisi penyimpanan yang sesuai. Selain itu juga bisa digunakan untuk menghitung waktu pengeringan, memprediksi kondisi keseimbangan dalam satu campuran produk dengan nilai a_w yang berbeda (Dwiyono, 2014).

Daerah antara fase satu dan dua adalah M_p yang mempunyai makna batas peralihan kedua fase dan disamakan dengan fraksi air terikat primer, di lain pihak M_p adalah batas fase laju fase kedua dan ketiga yang merupakan fraksi air terikat sekunder (M_s) dan tersier (M_t) dan di atas fase tiga adalah fraksi air bebas (M_f) yang merupakan fraksi air bebas (*free water*) yang ada di permukaan bahan. Dalam bidang industri yang berkaitan dengan penanganan pascapanen yang meliputi pengeringan,

penyimpanan dan pengemasan produk pertanian. Hasil analisis tersebut berguna untuk merancang model pengeringan, penyimpanan dan pengemasan (Dwiyono, 2014). Pengetahuan tentang sifat sorpsi

suatu makanan sangat penting dalam penyimpanan makanan, terutama karena menyangkut pendekatan kuantitatif terhadap prediksi umur simpan makanan (Hadjikinova *et al.*, 2003).

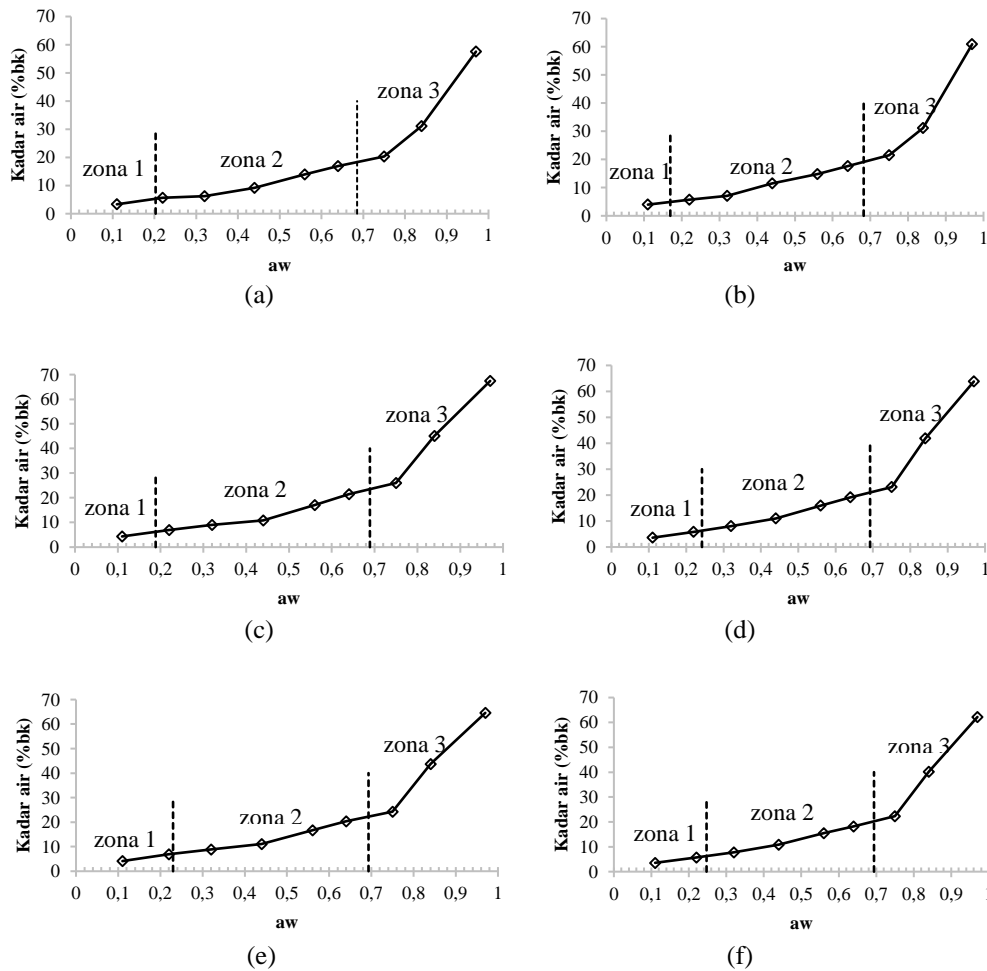


Gambar 6. Regresi semilogaritmik tepung bumbu: tanpa penambahan silika (a), komersial (b), penambahan silika sintetik 0,5% (c), penambahan silika sintetik 1% (d), penambahan silika sekam padi 0,5% (e), penambahan silika sekam padi 1% (f).

Tabel 8. Nilai kadar air kritis pada tepung bumbu hasil penelitian

Kapasitas air terikat	Kadar air					
	Tanpa silika	Komersial	Sintetik 0,5%	Sintetik 1%	Sekam 0,5%	Sekam 1%
Mp	5,72	5,52	6,89	7,46	7,91	7,35
Ms	17,97	18,80	23,03	20,66	22,02	20,04
Mt	65,72	69,66	75,64	71,94	72,57	70,18
a _p	0,20	0,17	0,19	0,24	0,23	0,25
a _s	0,69	0,68	0,69	0,69	0,69	0,69

Ket: Mp: Kadar air kritis primer; Ms: kadar air kritis sekunder; Mt: kadar air kritis; Mf: Kadar air bebas



Gambar 7. Susunan tiga daerah fraksi air tepung bumbu: tanpa penambahan silika (a), komersial (b), penambahan silika sintetik 0,5% (c), penambahan silika sintetik 1% (d), penambahan silika sekam padi 0,5% (e), penambahan silika sekam padi 1% (f)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh rendemen silika sekam padi sebesar 16,53% dengan karakteristik silika yang berwarna lebih buram, kadar air 2,31 (% bk), aktivitas air 0,42, kemurnian 54,30% dan mempunyai struktur amorf. Sedangkan karakteristik silika sintetik memiliki warna putih, kadar air 5,42 (% bk), a_w 0,52, kemurnian 68,58%, dan mempunyai struktur amorf. Berdasarkan kurva sorpsi isoteremis karakteristik tepung bumbu selama penyimpanan maka diperoleh tepung bumbu terbaik yaitu pada perlakuan tepung bumbu dengan penambahan silika sekam padi 1% dengan nilai M_p 7,35 (% bk) dengan $a_{wp} = 0,25$, M_s 20,04 (% bk) dengan $a_{ws} = 0,69$, dan M_t 70,18 (% bk). Hasil ini ditetapkan berdasarkan nilai kadar air dan aktivitas air kritikal tepung bumbu selama penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

Aguilera JM dan Stanley DW. 1999. *Microstructural Principles of Foods Processing and*

Engineering. 2nd ed. Maryland: Aspen Pulb. Inc.
 Bell LN dan Labuza TP. 2000. *Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use*. Minnesota (US): American Association Cereal Chemist.
 [BPOM] Badan Pengawasan Obat dan Makanan. 2013. *Batas Maksimum Penggunaan Bahan Tambah Pangan Antikempal*. Jakarta (ID): BPOM
 Brooker DB, Bakker-Arkema FW, dan Hal CW. 1992. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. New York (US): An Avia Book.
 Chandrasekhar S, Satyanarayana KG, Pramada PN, Raghavan P. 2003. Review processing, properties and applications of reactive silica from rice husk-an overview. *Journal of Materials Science*. Vol. 38: 3159-3168.
 Coniwanti P, Rasmiah S, dan Apriliyanni. 2008. Pengaruh proses pengeringan, normalitas hcl, dan temperatur pembakaran pada pembuatan silika dari sekam padi. *Jurnal Teknik Kimia*. 1(15): 2-4.

- Dwivedi VN, Singh NP, Dass SS, Singh NB. 2006. A new pozzolanic material for cement industry: bamboo leaf ash. *Int J Physics Sci* 1: 106-111.
- Dwiyono K. 2014. Perbaikan Proses Pengolahan Umbi Iles-iles (*Amorphophallus muelleri* Blume) untuk Agroindustri Glukomanan. [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Goula AM, Thodoris DK, Dimitris SA, Konstantinos GA. 2007. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. *J Food Eng.* 2(3): 103-106
- Hadjikinova M, Menkov N, Hadjikinov D. 2003. Sorption characteristics of dietary hard candy. *Czech J. Food Sci* 21(3) 97-99.
- Hanafi S dan Nandang R. 2010. Studi pengaruh bentuk silika dari abu ampas tebu terhadap kekuatan produk keramik. *Jurnal Kimia Indonesia.* 5 (1): 35-38.
- Harsono H. 2002. Pembuatan silika amorf dari limbah sekam padi. *Jurnal Ilmu Dasar* 2(3): 98-103.
- Heldman DR dan Lund DB. 1992. *Handbook of Food Engineering.* New York (US): Merce Dekker Inc.
- Iskandar A. 2014. *Rekayasa Proses Granulasi Gula Aren Cetak.* [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Kirk RE, Othmer DF. 1984. *Encyclopedia of Chemical Technology*, Ed ke-4: Vol. 21. New York (US): John Wiley and Sons Inc.
- Krishnarao RV, Subrahmanyam J, Kumar TJ. 2001. Studies on the formation of black particles in rice husk silica ash. *Journal Eu Ceramic Soc* 21: 99-104.
- Legowo AM, Nurwanto. 2004. Analisis Pangan. Diktat Kuliah. Semarang (ID): Universitas Diponegoro.
- Mathlouthi M. 2001. Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *J Food control* 12: 409-417.
- Moreira RG, Sun X, dan Chen Y. 1997. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep fat frying. *Journal Food Eng* 31(4): 485-498.
- Nisak F dan Munasir. 2013. Analisis porositas nanosilika berbasis pasir alam yang disintesis dengan metode kopresipitasi. *Jurnal Inov Fis Indonesia* 02: 14-18.
- Pausa Y, Malino MB, dan Arman Y. 2015. Optimasi Tingkat Kemurnian Silika SiO₂ Dari Abu Cangkang Sawit Berdasarkan Konsentrasi Pengasaman. *Jurnal Prisma Fis.* 3(01): 01-04.
- Rahayu WP dan Arpah. 2003. *Penetapan Kadaluarsa Produk Industri Kecil Pangan.* Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sembiring S, Simanjuntak W. 2015. *Silika Sekam Padi Potensinya sebagai Bahan Baku Keramik Industri.* Yogyakarta (ID): Penerbit Plantaxia.
- Sianipar D. 2008. Kajian Formulasi Bumbu Instan Binthe Biluhuta, Karakteristik Hidratasi dan Pendugaan Umur Simpannya dengan Menggunakan Metode Pendekatan Kadar Air Kritis. [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Syarief R dan Halid H. 1993. *Teknologi Penyimpanan Pangan.* Bogor (ID): IPB Press.
- Umeda J dan Kondoh K. 2008. High-purity amorphous silica originated in rice husks via carboxylic acid leaching process. *Journal of Mat Sci* 43(22): 7084-7090.
- Umeda J dan Kondoh K. 2010. High-purification of amorphous silica originated from rice husks by combination of polysaccharide hydrolysis and metallic impurities removal. *Journal Industrial Crops and Products* 32: 539-544.