

PRODUKSI DAN KARAKTERISASI SILIKA SEBAGAI MATERIAL MULTIFUNGSI DARI LIMBAH JAGUNG

Ayu Dahliyanti, Ika Dyah Widharyanti, dan Catia Angli Curie

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pertamina, Jakarta 12220, Indonesia

E-mail: ayu.dahliyanti@universitaspertamina.ac.id (corresponding author)

ABSTRACT

In order to prevent negative environmental impact, high volume of waste generated from corn processing needs to be transformed into a more valuable product. Based on the mineral composition of corn plant, this waste could become a potential source of silica, a multifunctional material with applications in various fields, such as semiconductor, adsorbent technology, catalysis, and lithium ion battery. In this work, corn husks, cobs, and stalks is processed through leaching at various HCl concentration, followed by atmospheric decomposition at moderate temperature to obtain silica for further suitable application. Morphological characteristic is analyzed by SEM images, crystallinity of silica is determined by XRD, while purity and possible organic contaminants are investigated by FTIR. The result shows that corn husks provide the highest silicon dioxide yield at 2.543 wt.%. Powders obtained from corn husks also indicate a higher purity with insignificant metallic or organometallic contaminants, showing closest crystal structure to the mixture of quartz and amorphous phase.

Keywords: Corn waste, silica, leaching.

ABSTRAK

Untuk mencegah timbulnya permasalahan lingkungan, limbah jagung yang melimpah jumlahnya di Indonesia perlu dimanfaatkan menjadi produk bernilai tinggi. Berdasarkan potensi kandungan mineral yang ada di tanaman jagung, limbah tersebut berpotensi sebagai sumber silika yang merupakan material multifungsi dengan pengaplikasian di berbagai bidang mulai dari semikonduktor, adsorben, katalisis, hingga baterai lithium ion. Pada studi ini, limbah yang berasal dari beberapa bagian tanaman jagung (kulit tongkol, bonggol, dan batang) diproses menjadi silika melalui metode leaching dengan HCl pada berbagai konsentrasi yang dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu moderat. Silika yang diperoleh kemudian dikarakterisasi morfologinya menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM), ditentukan kristalinitas dengan X-ray diffraction (XRD), serta diperiksa tingkat kemurnian dan kandungan pengotor organiknya dengan Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kulit tongkol jagung memiliki yield silika tertinggi yaitu sebesar 2,543 % massa. Silika dari tongkol jagung juga memiliki kemurnian tinggi dengan struktur kristal yang merupakan paduan antara amorf dan quartz.

Kata kunci: Limbah jagung, silika, leaching.

1. PENDAHULUAN

Jagung merupakan salah satu komoditi pangan strategis dan sumber karbohidrat terbesar kedua setelah beras. Jagung umumnya digunakan sebagai bahan baku industri pangan atau pakan hewan. Pada tahun 2015, produksi jagung di Indonesia mencapai 19,6 juta ton pipilan kering [1]. Namun pada tahun yang sama Indonesia masih harus mengimpor sebanyak 1,6 juta ton [2]. Pemerintah pun telah menargetkan peningkatan produksi jagung untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, yang dibuktikan dengan perluasan area panen jagung sebesar 15,85% di tahun 2016 [3]. Besarnya konsumsi jagung nasional berimbas terhadap tingginya volume limbah jagung yang dihasilkan, mengingat dari seluruh bagian tanaman hanya pipilan atau kernel yang dikonsumsi. Sisa tanaman mayoritas menjadi limbah yang jumlahnya diestimasi mencapai 87,5 juta ton per tahun [4].

Dalam klasifikasi tanaman, jagung tergolong dalam orde Poales dan keluarga Poaceae/ Gramineae. Orde Poales diketahui memiliki kandungan silikon rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan tumbuhan monokotil lainnya [5]. Silikon dalam tanaman tersimpan dalam bentuk mineral silika yang berukuran 100 nm hingga 200 nm [6]. Dalam keluarga Poaceae/ Gramineae, silika terdeposisi di berbagai bagian tanaman, seperti sekam atau kulit tongkol, bonggol, batang, dan akar [5,7,8].

Sejumlah peneliti telah berhasil mengekstraksi senyawa silika atau silikon dari tanaman di keluarga Poaceae/ Gramineae untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang, antara lain sebagai semikonduktor, *catalyst support*, adsorben, dan anoda baterai litium ion. Sekam padi, yang memiliki kandungan silikon hingga 10% massa kering, merupakan salah satu objek riset yang populer [8]. Material yang berhasil disintesis dari sekam padi antara lain silikon karbida (SiC) melalui metode pirolisis [9], superfine silika melalui metode hidrolisis [10], nanopartikel silikon menggunakan metode leaching [11], dan zeolit NaY melalui metode perlakuan asam dan kalsinasi [12]. Nanopartikel silikon juga diperoleh dari anggota keluarga Poaceae/ Gramineae lainnya, yaitu tanaman tebu, melalui perlakuan asam dan pemanasan yang dilanjutkan dengan iradiasi gelombang mikro [13]. Di sisi lain, studi terkait fabrikasi silika atau silikon yang bersumber dari limbah jagung masih sangat jarang, dengan pengecualian riset yang dilakukan oleh Velmurugan dkk. untuk ekstraksi silika amorf dari bonggol jagung dengan metode sol-gel [14].

Dalam studi ini, limbah jagung yang bersumber dari beberapa bagian tanaman yaitu kulit tongkol, bonggol, dan batang akan ditransformasi menjadi silika yang bernilai ekonomi lebih tinggi. Hasil eksperimen akan dibandingkan untuk

mengetahui bagian tanaman jagung yang memiliki *yield* dan tingkat kemurnian silika tertinggi, serta aplikasi yang paling sesuai untuk silika dengan morfologi serta struktur kristal yang didapatkan.

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

2.1 Material

Kulit tongkol, bonggol, dan batang tanaman jagung diperoleh dari petani di Pati, Jawa Tengah. HCl pekat (Merck) dan aquadest digunakan dalam proses *leaching*.

2.2 Metodologi

Fabrikasi silika dari limbah jagung

Kulit tongkol, bonggol, dan batang tanaman jagung yang telah digiling dengan massa masing-masing 3 g dicampurkan ke dalam 45 mL HCl 10% selama 2 jam untuk menghilangkan ion-ion logam melalui mekanisme *leaching*. Hasil proses *leaching* kemudian dicuci menggunakan aquadest dan disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm, dilanjutkan dengan pengeringan pada suhu 80°C. Sampel kemudian dipanaskan dalam *furnace* atmosferik bersuhu 700°C selama 2 jam dengan atau tanpa *temperature ramp rate* sebesar 5°C per menit untuk mendekomposisi material organik yang tidak diinginkan. Bubuk silika yang diperoleh kemudian dikarakterisasi lebih lanjut.

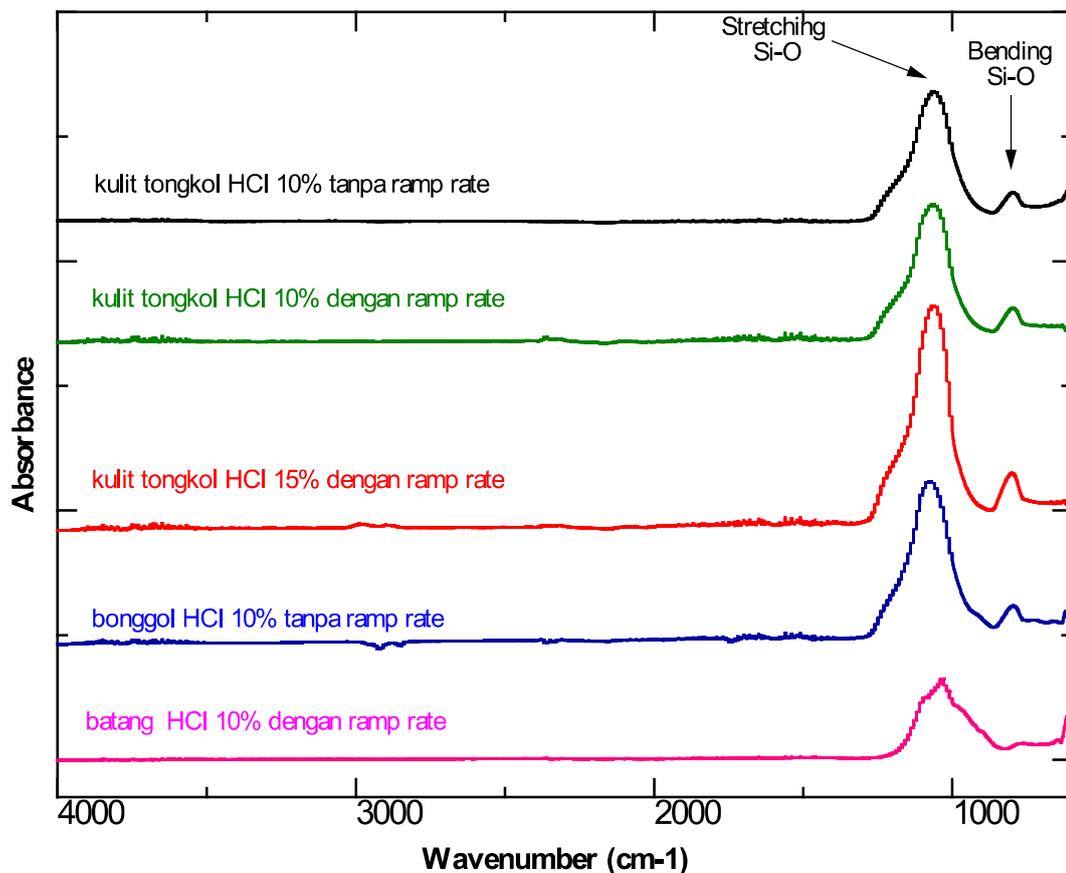
Karakterisasi Material

Struktur kristal material diinvestigasi berdasarkan pola difraksi X-ray (XRD, Rigaku, Ultima IV) dengan radisi Cu-K α pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Spektra XRD dipindai dari sudut 5° sampai dengan 90° dengan *scan rate* 5° per menit. Morfologi sampel dianalisis menggunakan *scanning electron microscope* (SEM, Hitachi SU 3500). Tingkat kemurnian silika dan potensi kontaminasi senyawa organik diperiksa menggunakan *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR, Thermo Scientific iS 5) dengan *wavenumber* 500 sampai 4000 cm⁻¹.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektra FTIR (Gambar 1) sampel yang berasal dari kulit tongkol dan bonggol mengkonfirmasi berhasilnya fabrikasi silika sebagaimana ditunjukkan oleh puncak karakteristik Si-O *stretching* pada 1050 cm⁻¹ dan Si-O *bending* pada 791 cm⁻¹. Sampel tersebut juga memiliki kemurnian yang baik, disimpulkan dari tidak ditemukannya puncak yang mewakili kontaminan senyawa organik lain. Di

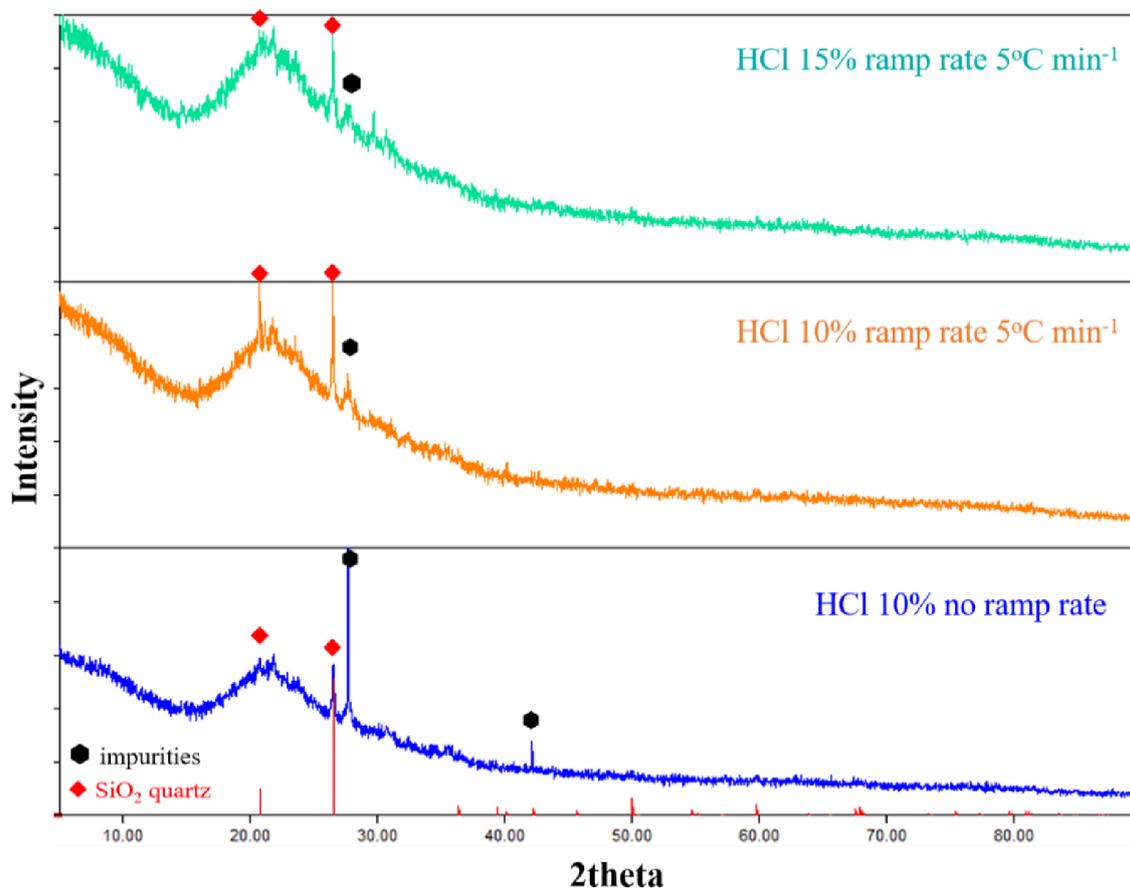
sisi lain, sampel yang berasal dari batang jagung tidak menunjukkan puncak karakteristik silika yang jelas. Hal ini disebabkan oleh keberadaan kontaminan organik atau metalorganik, yang dapat dikonfirmasi dari pola XRD di Gambar 3. Struktur batang jagung yang tebal kemungkinan menyebabkan proses *leaching* tidak berlangsung sempurna, sehingga dibutuhkan konsentrasi HCl yang lebih tinggi.



Gambar 1. Spektra FTIR seluruh sampel setelah proses leaching dengan HCl dan pemanasan pada suhu 700°C.

Struktur kristal dan keberadaan kontaminan logam pada sampel silika yang diperoleh dari kulit tongkol jagung dianalisis menggunakan difraksi X-ray (Gambar 2). Mayoritas sampel silika memiliki kombinasi struktur kristal amorf dan quartz (ICDD 96-900-5020) dengan kontaminan logam yang tidak signifikan. Transformasi struktur kristal dari amorf ke quartz terjadi akibat pemanasan pada suhu 700°C. Kontaminan logam yang teridentifikasi merupakan residu dari proses *leaching* yang kurang sempurna. Ketika konsentrasi HCl ditingkatkan dari 10%

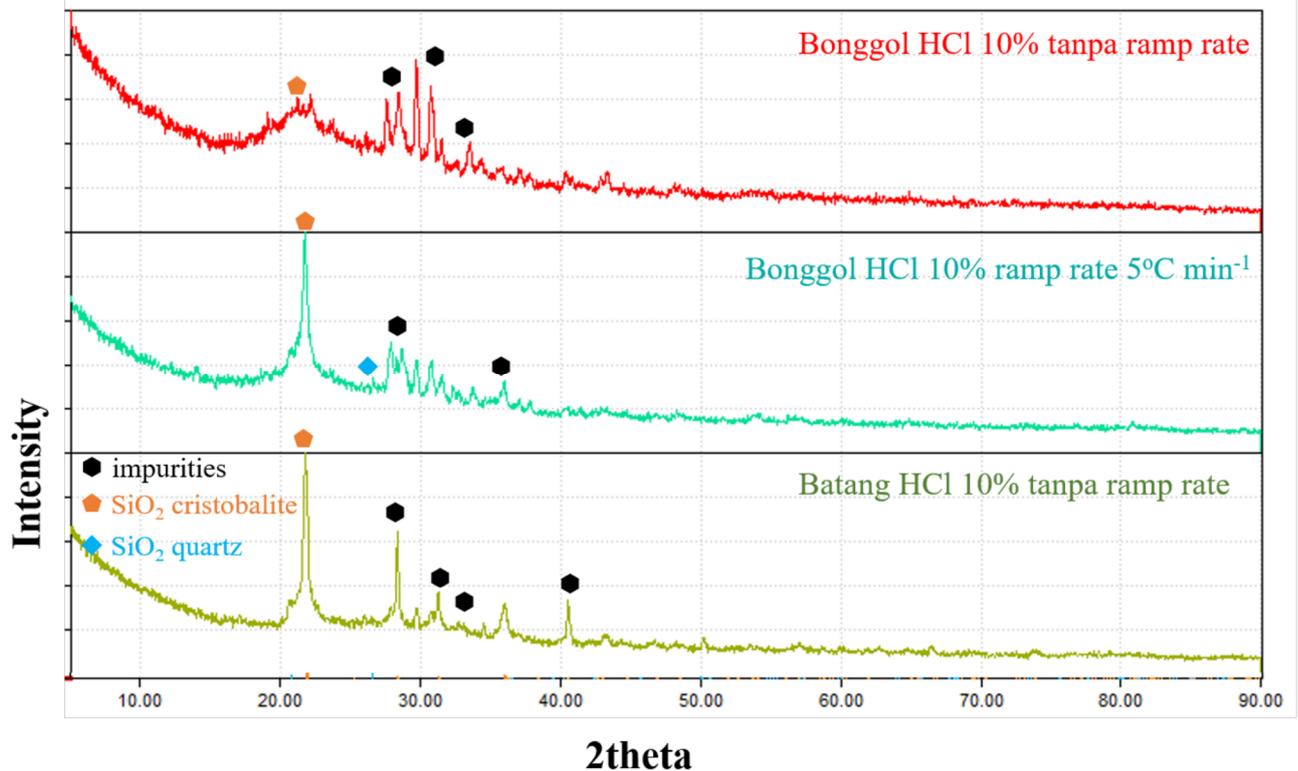
ke 15%, kadar kontaminan logam berkurang, dibuktikan dengan makin samarnya puncak karakteristik untuk kontaminan tersebut. Kristalinitas silika meningkat saat pemanasan dilakukan dengan *temperature ramp rate*, ditunjukkan dengan penajaman puncak karakteristik silika quartz.



Gambar 2. Pola XRD sampel dari kulit tongkol setelah proses leaching dengan HCl dan pemanasan pada suhu 700°C.

Sementara itu, pola XRD sampel silika yang berasal dari bonggol dan batang disajikan pada Gambar 3. Silika yang didapatkan dari bonggol secara umum memiliki struktur amorf, dengan sejumlah kecil paduan struktur *crystobalite* (ICDD 96-900-8230). Pemanasan yang dilakukan dengan *temperature ramp rate* juga terbukti dapat meningkatkan kristalinitas sampel silika. Sementara itu, silika yang terdeteksi dari batang memiliki struktur *crystobalite*. Dari kedua sampel ini belum didapatkan silika dengan kemurnian tinggi, ditunjukkan dengan terdeteksinya puncak-puncak lain selain puncak karakteristik silika. Seperti yang

dibahas sebelumnya, hal ini mengindikasikan perlunya konsentrasi asam yang lebih tinggi untuk menyempurnakan proses *leaching* di bonggol dan batang.



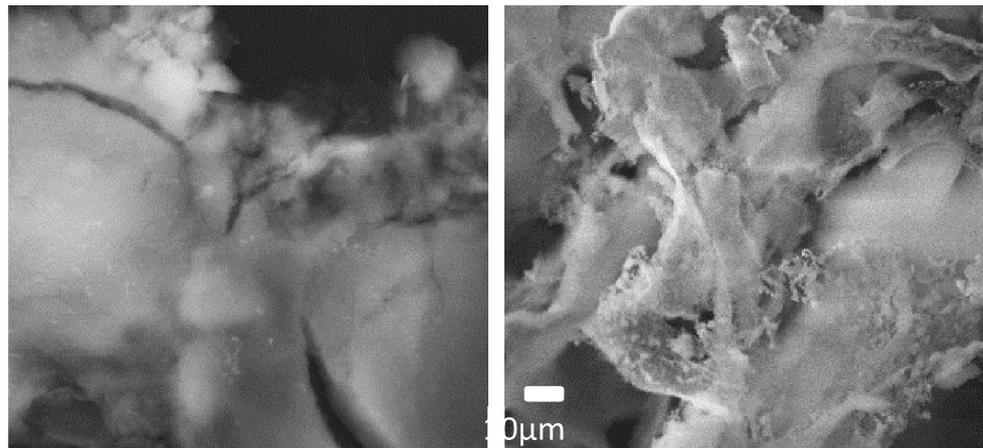
Gambar 3. Pola XRD sampel dari bonggol dan batang jagung setelah proses leaching dengan HCl dan pemanasan pada suhu 700oC.

Tabel 1. merangkum *yield* silika yang berhasil diperoleh dari berbagai bagian tanaman jagung. Kadar silika tertinggi ditemukan pada kulit tongkol jagung, yaitu mencapai 2.543% massa. Kadar silika di bagian lain jauh lebih rendah, yaitu 0.593% massa di bonggol dan 0.843% massa di batang. Perlu dicatat bahwa kontaminan di bonggol dan batang relatif signifikan, sehingga *yield* silika murni yang diperoleh akan lebih rendah dari nilai tersebut.

Tabel 1. Yield Silika dari Berbagai Bagian Tanaman Jagung

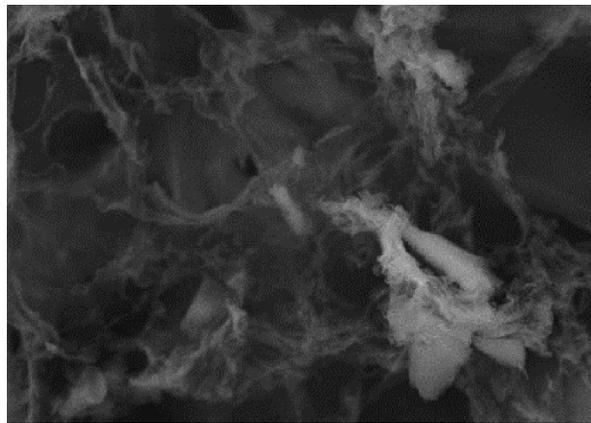
Parts of Plants	Konsentrasi HCl	Kondisi operasi <i>furnace</i>	Yield (% massa)
Kulit Tongkol	10%	tanpa <i>ramp rate</i>	2,543
Kulit Tongkol	10%	dengan <i>ramp rate</i> 5°C min ⁻¹	2,328
Kulit Tongkol	15%	dengan <i>ramp rate</i> 5°C min ⁻¹	2,269
Bonggol	10%	tanpa <i>ramp rate</i>	0,593
Bonggol	10%	dengan <i>ramp rate</i> 5°C min ⁻¹	0,378
Batang	10%	tanpa <i>ramp rate</i>	0,843

Untuk menginvestigasi pengaruh kondisi operasi terhadap morfologi silika, dilakukan analisis dengan *scanning electron microscopy* (SEM). Dalam hal ini diambil foto SEM untuk sampel yang berasal dari bagian dengan kadar silika tertinggi, yaitu kulit tongkol. Dari Gambar 4a diketahui bahwa silika yang diperoleh memiliki morfologi *bulk* yang teraglomerasi. Penambahan *ramp rate* (Gambar 4b) memicu pertumbuhan partikel sekunder yang berukuran lebih kecil, yang berperan terhadap perubahan struktur kristal. Di sisi lain, peningkatan konsentrasi HCl (Gambar 4c) dapat memecah jaringan tanaman sehingga mengoptimalkan proses *leaching* dan mengurangi kontaminan pada produk akhir. Pada tahap penelitian lebih lanjut, untuk mengoptimalkan kinerja material dalam aplikasinya di berbagai bidang, morfologi silika ini akan dimodifikasi sehingga memiliki ukuran partikel yang lebih kecil, yang dapat mencapai skala submikron hingga nanometer.



(a)

(b)



(c)

Gambar 4. Foto SEM untuk silika yang diperoleh dari kulit tongkol jagung setelah proses leaching dan pemanasan pada suhu 700°C: (a) tanpa *ramp rate*, (b) dengan *ramp rate* (d) dengan konsentrasi HCl 15%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan limbah jagung menjadi produk silika yang multifungsi dan bernilai tinggi, dapat dilakukan melalui proses yang sederhana dan relatif murah. Silica berhasil disintesis dari kulit tongkol, bonggol, dan batang jagung dengan metode leaching yang dilanjutkan dengan pemanasan di furnace *atmosferik*. Silika yang didapatkan dari kulit tongkol jagung memiliki kemurnian dan *yield* terbaik, yaitu 2,543 % massa, dengan struktur kristal amorf dan quartz. Perlakuan *ramp rate* pada saat pemanasan memicu pembentukan struktur kristal dan partikel sekunder yang berukuran lebih kecil. Di sisi lain, peningkatan konsentrasi asam membantu memecah jaringan tanaman sehingga mengoptimalkan proses

leaching dan mengurangi kontaminan pada produk silika yang diperoleh. Hasil ini akan digunakan sebagai dasar untuk mengoptimasi proses sintesis dan menentukan aplikasi yang terbaik untuk silika yang diproduksi dari limbah jagung.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi, yang telah memberikan pendanaan terhadap penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS (2016) Produksi Jagung Menurut Provinsi (ton), 1993-2015. Taken from: <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/868> (accessed on June 10, 2017).
- [2] Kementerian Pertanian (2015) Kinerja Satu Tahun Kementerian Pertanian Oktober 2014 – Oktober 2015. <http://www.pertanian.go.id/assets/upload/doc/kinerja%20kementan%202015.pdf> (accessed on June 10, 2017).
- [3] Chafid, M. (2016) Outlook Komoditas Pertanian Sub Sektor Tanaman Pangan: Jagung. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian.
- [4] Muktiani, A., Kusumanti, E., & Harjanti, D.W. (2017) Utilization of crop corn waste as a complete feed for pregnant goats. *Advanced Science Letters*. 23(3), 2624-2626.
- [5] Epstein, E. (1999) Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 50, 641-664.
- [6] Ehrlich, H., Demadis, K.D., Pokrovsky, O.S., & Koutsoukos, P.G. (2010) Modern View on Desilification: Biosilica and Abiotic Silica Dissolution in Natural and Artificial Environments. *Chemical Reviews*. 110(8), 4656 – 4689.
- [7] Ma, J.F. & Yamaji, N. (2006) Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*. 11(8), 392 – 397.
- [8] Andrade, F.A., Andrade Junior, A., Andrade, C.G.T.J., & Miglioranza, E. (2014) Accumulation of silicon and arrangement and shapes of silica bodies in corn husks. *Genetics and Molecular Research*. 13(1), 1690 –

- 1696.
- [9] Krishnarao, R. V. & Mahajan, Y. R. (1996) Formation of SiC whiskers from raw rice husks in argon atmosphere. *Ceramics International*, 22(5), 353-358.
- [10] Zhang, H., Zhao, X., Ding, X., Lei, H., Chen, X., An, D., Li, Y. & Wang, Z. (2010) A study on the consecutive preparation of d-xylose and pure superfine silica from rice husk. *Bioresource Technology*. 101(4), 1263-1267.
- [11] Liu, N., Lu, Z., Zhao, J., McDowell, M.T., Lee, H., Zhao, W. & Cui, Y. (2014) A pomegranate-inspired nanoscale design for large-volume-change lithium battery anodes. *Nature Nanotechnology*. 9, 187-192.
- [12] Mohamed, R.M., Khalid, I.A. & Barakat, M.A. Rice husk as a renewable source for the production of zeolite NaY and its characterization. *Arabian Journal of Chemistry*. 8(1), 48-53.
- [13] Chu, B., Sun, B., Song, B., Wu, S., Su, Y. & He, Y. (2016) Plants-derived fluorescent silicon nanoparticles featuring excitation wavelength-dependent fluorescent spectra for anti-counterfeiting application. *Chemical Communication*.(Accepted Manuscript).
- [14] Velmurugan, P., Shim, J., Lee, K.-J., Cho, M., Lim, S.-S., Seo, S.-K. & Oh, B.-T. (2015). Extraction, characterization, and catalytic potential of amorphous silica from corn cobs by sol-gel method. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 29, 298–303.