

# Isolasi Silikon (Si) Dari *Fly Ash* Batubara Dengan Metode Metalotermis Menggunakan Reduktor Aluminium

Nanang Sugiarto<sup>1)</sup>, Novita Andarini<sup>1)</sup>, Tanti Haryati<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Kimia; Fakultas MIPA; Universitas Jember  
Email : [nanangchemist11@gmail.com](mailto:nanangchemist11@gmail.com)

## ABSTRAK

Isolasi silikon dari *fly ash* (abu terbang) hasil samping pembakaran batubara PLTU Paiton Probolinggo telah dilakukan menggunakan metode metalotermis. Metode metalotermis yaitu mereaksikan silika dan aluminium pada kondisi termal. Penentuan kondisi optimum isolasi silikon menggunakan silika p.a dilakukan dengan variasi suhu 650°C, 750°C, dan 850°C selama 3 jam. Setelah itu, alumina dipisahkan dengan cara pengasaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu optimum isolasi silikon pada silika p.a yaitu 850°C dengan massa jenis 2,195 g/cm<sup>3</sup> dan kadar silikon sebesar 20,7161%. Hasil ini juga didukung dengan data analisis FTIR. Suhu optimum yang didapat diaplikasikan untuk mengisolasi silikon dari silika hasil ekstraksi *fly ash*. Randemen silika hasil ekstraksi yaitu 39,078 – 47,58 % dan massa jenis silikon yang didapatkan yaitu 1,793 g/cm<sup>3</sup>. Silikon hasil metalotermis silika p.a dan silika hasil ekstraksi masih berupa silikon kasar.

**Kata Kunci :** *fly ash*, silika, aluminium, metalotermis

## PENDAHULUAN

Silikon (Si) merupakan salah satu unsur kimia yang memiliki banyak manfaat bagi kehidupan, salah satunya yaitu pada perangkat keras komputer dan industri mikroelektrokimia. Silikon bisa diisolasi dari bentuk oksidanya (SiO<sub>2</sub>) yang sering disebut silika dari beberapa limbah, salah satunya yaitu limbah *fly ash* pembakaran batubara PLTU Paiton Probolinggo.

*Fly ash* adalah abu yang terbawa oleh aliran gas pembakaran dan dikumpulkan di *economizer air heater* dan penampung atau *precipitator hopper*, biasanya berukuran 0,074-0,005 mm (Hosenainy, 2011). *Fly ash* mengandung berbagai jenis oksida logam, terutama silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>), aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). PJB Paiton (2002) menyatakan bahwa silika (SiO<sub>2</sub>) yang terkandung dalam *fly ash* yaitu 30,25-36,83 %.

Penelitian mengenai isolasi silikon telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Silikon dari abu sekam padi diisolasi menggunakan metode metalotermis menggunakan reduktor aluminium pada suhu 650°C dan optimum selama 180 menit (Subakti, *et al.*, 2013). Penentuan celah energi (*Energi Gap*) silikon hasil isolasi dari abu sekam padi dengan reaksi metalotermis aluminium telah dilakukan dan memberikan hasil celah energi sebesar 1,79 eV untuk tegangan 0,5 Volt dan 1,62 eV untuk tegangan 2,2 Volt (Armaina, *et al.*, 2013).

Isolasi silikon dari *fly ash* batubara belum pernah dilakukan dan belum diketahui kondisi optimum untuk mengisolasinya, sehingga penelitian mengenai pemanfaatan limbah *fly ash* batubara sebagai sumber silikon dengan penentuan suhu optimum isolasi perlu dilakukan. Isolasi silikon pada penelitian ini dilakukan

dengan metode metalotermis menggunakan reduktor aluminium (Al). Reaksi metalotermis adalah proses pereaksian secara termal silika dan bahan logam (Subhan, 2002). Metode metalotermis dipilih karena murah dan relatif sederhana, proses pereaksian juga dapat dilakukan pada temperatur yang relatif rendah yakni 650°C dibandingkan dengan metode Czochralski sekitar 1450°C (Subhan, 2002) dan penggunaan reduktor karbon (C) pada suhu 3000°C.

## METODOLOGI

### 1. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah gelas beaker, labu ukur, pipet volume, pipet mohr, pipet tetes, spatula, corong kaca, corong buchner, *ball pipet*, botol semprot, cawan porselin, cawan nikel, desikator, termometer, aluminium foil, piknometer, kaca arloji, kertas saring, kertas saring *whatman* no.41, anak stirer, neraca analitik (Ohaus Analytical Plus), *furnace* (Barnstead Thermolyne 1400), oven (Mettler), pH meter (Jenway 3505), Spektrofotometer FTIR (Bruker Alpha Sample, ATR eco Ge), Spektrofotometer Serapan Atom (AAS Perkin Elmer 3110), stirer magnetik dan pemanas listrik (Lab. Companion HP-3000).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel *fly ash* (abu terbang) batubara dari PLTU Paiton Probolinggo, NaOH (merck), HCl (merck 37%), HNO<sub>3</sub> (merck 65%), HClO<sub>4</sub> (merck 60-70%), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (merck 98%), HF (merck 48%), serbuk silika (merck), serbuk aluminium (merck), dan aquades.

## 2. Prosedur Kerja

### 2.1 Isolasi Silikon dari Silika p.a dengan Metode Metalotermis untuk Penentuan Suhu Optimum

Serbuk silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan aluminium (Al) dicampur dengan perbandingan massa berdasarkan stoikiometri dan ditempatkan dalam cawan porselen.



Silika sebanyak 5 gram dan 2,967 gram aluminium dicampur, kemudian dipanaskan dalam *furnance* dengan variasi suhu reaksi yaitu 650 ; 750 ; 850 selama 3 jam. Campuran yang telah dipanaskan kemudian didinginkan dan dilakukan prosedur pemisahan serta analisis silikon hasil metalotermis, sehingga akan didapatkan suhu optimum untuk isolasi silikon

### 2.2 Preparasi Sampel

Sebanyak 50 gram sampel *fly ash* direndam dalam air panas selama 2 jam (Retnosari, 2013).

### 2.3 Leaching

Sampel *fly ash* sebanyak 25 gram kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan ditambah 500 mL HCl 3%. Campuran tersebut direfluks selama 2 jam, setelah itu larutan disaring dan residu dicuci dengan aquades panas hingga netral. Residu dikeringkan di dalam oven pada suhu 100 °C (Okutani, 2009).

### 2.4 Ekstraksi Silika dari *Fly Ash* Batubara

Sampel *fly ash* direndam dalam larutan NaOH 3 M, kemudian dipanaskan hingga mendidih yang disertai pengadukan dengan kecepatan 150 rpm selama 120 menit. Larutan tersebut disaring dan filtratnya ditampung dalam beaker glass. Silika diendapkan dengan cara menambahkan larutan HCl 1 M ke dalam filtrat secara bertahap hingga rentang pH 6,5-7. Endapan dipisahkan dan dibilas menggunakan aquades untuk menghilangkan kelebihan asam. Silika yang diperoleh selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 6 jam untuk menghilangkan air (Retnosari, 2013).

### 2.5 Karakterisasi Silika Hasil Ekstraksi dengan Metode Gravimetri

Silika dilarutkan dengan aquades,  $\text{HNO}_3$  p.a,  $\text{HClO}_4$  p.a, kemudian dipanaskan sampai keluar uap putih. Selanjutnya larutan disaring dengan kertas saring *Whatman* no.41. Kertas saring dan residu dicuci dengan air panas sebanyak 15 kali. Kemudian residu dan kertas saring dimasukkan ke dalam cawan platina, setelah itu dipanaskan dan dibakar di atas nyala gas sampai terbentuk abu kemudian dipijarkan pada *furnace* dengan suhu 1000°C selama 30 menit. Setelah itu didinginkan dalam desikator vakum 20 menit kemudian timbang (A gram). Selanjutnya residu dalam platina dilarutkan dengan sedikit air, ditambahkan 1-2 tetes  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan 5 mL HF, diuapkan sampai kering di atas plat pemanas dan dipijarkan pada *furnace* dengan suhu 1000°C

selama 2 menit. Kemudian didinginkan dalam desikator vakum 20 menit dan hasilnya ditimbang (B gram) (SNI 7574 : 2010 dalam Retnosari, 2013).

$$(i) \text{SiO}_2 (g) = \frac{(A - B) \times C}{D}$$

$$(ii) \text{Kadar SiO}_2 (\%) = \frac{(i) \times 100 \%}{C}$$

dimana :

A = bobot cawan + residu (gram)

B = bobot cawan + residu setelah proses

HF (gram)

C = silika hasil ekstraksi (gram)

D = bobot sampel (0,5 gram)

### 2.6 Isolasi Silikon dari Silika *Fly Ash* Batubara dengan Metode Metalotermis berdasarkan Suhu Reaksi Optimum

Silika sebanyak 1,5 gram dan 0,9 gram aluminium ditempatkan dalam cawan porselen. Campuran tersebut dipanaskan dalam *furnace* pada suhu optimum selama 3 jam. Campuran yang telah dipanaskan kemudian didinginkan dan dilakukan prosedur pemisahan serta analisis silikon hasil metalotermis.

### 2.7 Pemisahan Campuran Silikon dan Alumina

Pemisahan campuran atau reduksi alumina untuk mendapatkan silikon dilakukan dengan metode pengasaman menggunakan larutan HCl 3 M. Larutan HCl tersebut dituangkan secara perlahan pada produk reaksi metalotermis, kemudian dipanaskan pada suhu 70 °C selama 60 menit. Prosedur tersebut diulang tiga kali. Tahap selanjutnya yaitu campuran dibilas dengan aquades panas berulang kali hingga netral, setelah itu campuran difiltrasi dan dikeringkan dalam oven 60 °C selama 60 menit. Padatan yang telah dikeringkan dibiarkan selama 12 jam dan ditimbang hingga massanya konstan (Armaina, 2013).

### 2.8 Analisis Silikon Hasil Metalotermis

Analisis silikon hasil metalotermis dilakukan secara kualitatif dengan FTIR dan secara kuantitatif dengan AAS. Selain itu juga dilakukan analisis massa jenis silikon kasar dengan persamaan :

$$\rho_{\text{silikon}} = \frac{p_s - p_0}{(p_a + s) - p_{as}} \times 1 \text{ g/cm}^3$$

Keterangan massa :

Po : Piknometer kosong

Ps : Piknometer dan sampel

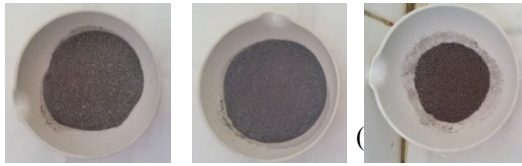
Pa : Piknometer dan aquades

Psa : Piknometer, sampel dan aquades

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi silikon dari silika p.a dilakukan untuk menentukan kondisi optimum isolasi berdasarkan variasi suhu reaksi metalotermis yaitu 650, 750, dan

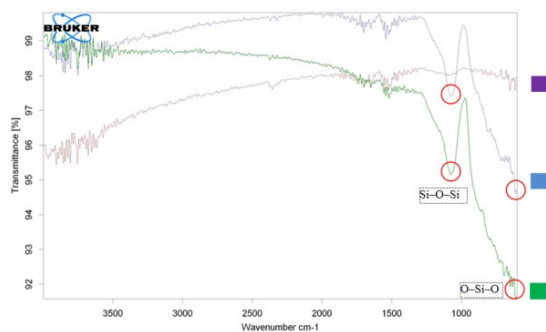
850 °C. Silikon hasil metalotermis dari variasi suhu yaitu :



Gambar 1. Silikon (Si) kasar hasil isolasi silika p.a pada suhu (a) 650 °C, (b) 750 °C, (c) 850 °C

Silikon hasil metalotermis 650 °C berwarna abu-abu mengkilap, hal ini menandakan bahwa sangat sedikit reaksi yang terjadi karena warna Al masih terlihat. Si hasil metalotermis 750 °C berwarna abu-abu, dan 850 °C berwarna abu-abu kehitaman.

Analisis FTIR digunakan untuk mengidentifikasi hilangnya gugus fungsi pada silika. Hasil analisis FTIR yaitu pada gambar 2.



Gambar 2. Spektrum FTIR Silikon hasil metalotermis (a) 650 °C (hijau) (b) 750 °C (biru), dan (c) 850 °C (ungu)

Spektrum FTIR silikon hasil metalotermis 650 °C dan 750 °C menunjukkan adanya puncak pada bilangan gelombang sekitar 500 dan 1100  $\text{cm}^{-1}$  yang disebabkan adanya vibrasi tekuk O-Si-O dan vibrasi asimetris Si-O-Si. Hal ini menandakan bahwa masih ada  $\text{SiO}_2$  yang belum bereaksi. Spektrum FTIR silikon hasil metalotermis 850 °C tidak menunjukkan adanya puncak gugus O-Si-O dan Si-O-Si, hal tersebut menandakan bahwa atom oksigen pada silika p.a telah direduksi sempurna oleh aluminium. Berdasarkan analisis FTIR bisa dikatakan bahwa kondisi optimum isolasi silikon yaitu pada suhu 850 °C.

Analisis kuantitatif silikon hasil metalotermis dilakukan dengan menggunakan AAS untuk menentukan kadar silikon yaitu pada panjang gelombang 251,6 nm, hasilnya yaitu tertera pada tabel 1.

Tabel 1. Kadar Silikon Hasil Metalotermis dari Silika p.a

No	Variasi Suhu (°C)	Kadar Silikon (%)
1	650	24,6848
2	750	26,9511
3	850	20,7162

Kadar silikon hasil metalotermis 850 °C lebih sedikit dibandingkan 650 dan 750 °C, namun kadar tersebut berdasarkan kadar silikon (Si) dan tidak ada campuran dengan  $\text{SiO}_2$  berdasarkan data analisis FTIR. Kadar silikon pada produk 650 °C dan 750 °C kemungkinan tidak hanya dari Si namun juga dari  $\text{SiO}_2$  jika dilihat dari hasil analisis FTIR.

Hasil penentuan massa jenis silikon hasil metalotermis yaitu :

Tabel 2. Massa Jenis ( $\rho$ ) Silikon Hasil Metalotermis dari Silika p.a

No	Variasi Suhu (°C)	$\rho$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
1	650	1,408
2	750	1,641
3	850	2,064

Massa jenis silikon kasar belum sama dengan massa jenis pada literatur karena silikon masih mengandung pengotor dan belum dalam keadaan murni, namun massa jenis silikon hasil metalotermis 850 °C mendekati dengan massa jenis silikon murni pada suhu kamar.

Isolasi silikon dari *fly ash* batubara dimulai dengan ekstraksi silika ( $\text{SiO}_2$ ). Sampel *fly ash* direndam dalam aquades panas untuk mengurangi pengotor bahan organik larut air yaitu karbon sehingga tidak mengganggu proses ekstraksi. Proses *leaching* dilakukan untuk menghilangkan oksida-oksida logam seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  yang dapat mengganggu proses ekstraksi silika.

Silika diekstraksi dengan pelarut NaOH dan pengendapan menggunakan menggunakan HCl. Pelarut NaOH dipilih karena silika dapat bereaksi dengan basa, terutama basa kuat seperti hidroksida alkali (Vogel, 1985). Silika hasil ekstraksi yaitu sebagai berikut :



Gambar 3. Silika ( $\text{SiO}_2$ ) hasil ekstraksi

**Tabel 3.** Silika (SiO<sub>2</sub>) Hasil Ekstraksi

Massa Fly Ash (gram)	Massa Silika rata-rata (gram)	Randemen (%)
25	3,598	39,078-47,58

Kandungan silika dalam *fly ash* sebanyak 30,25-36,83 % (PJB Paiton, 2002), sehingga berdasarkan teori jika silika terekstrak sempurna maka akan didapatkan silika sebanyak 7,5625-9,2075 gram. Randemen silika hasil ekstraksi yaitu 39,078-47,58 %. Massa silika hasil ekstraksi yang didapat pada penelitian ini lebih banyak jika dibandingkan dengan silika hasil ekstraksi yang telah dilakukan oleh Retnosari (2013) tanpa metode *leaching*, dimana proses ekstraksi silika dilakukan menggunakan 25 gram *fly ash* menghasilkan 1,2781 gram silika. Hal ini menunjukkan bahwa metode *leaching* (pengasaman) sebelum ekstraksi silika bisa meningkatkan kuantitas silika hasil ekstraksi.

Analisis gravimetri dilakukan untuk menentukan kadar silika hasil ekstraksi. Prinsip metode gravimetri yang digunakan pada penelitian ini yaitu penguapan, Kadar silika hasil ekstraksi tertera pada tabel 4.

**Tabel 4.** Kadar Silika Hasil Ekstraksi

Sampel	Kadar SiO <sub>2</sub> (%)
Silika (SiO <sub>2</sub> )	29,057

Isolasi silikon dari silika hasil ekstraksi *fly ash* batubara dilakukan menggunakan kondisi optimum isolasi yaitu pada suhu 850 °C. Silikon hasil metalotermis berwarna abu-abu hitam (gambar 4), dimana warnanya mirip dengan silikon hasil metalotermis dari silika p.a pada 850 °C.

**Gambar 4.** Silikon hasil metalotermis dari *fly ash* batubara

Hasil analisis FTIR silikon hasil metalotermis yaitu pada gambar 5.

**Gambar 5.** Spektrum FTIR silikon hasil metalotermis dari silika *fly ash*

Spektrum FTIR yang menunjukkan gugus Si–O–Si dan gugus O–Si–O tidak terlihat, hal tersebut menandakan bahwa reduksi atom O pada silika telah terjadi secara sempurna. Spektrum FTIR ini hampir sama dengan spektrum FTIR silikon hasil metalotermis silika p.a 850 °C.

Hasil analisis AAS silikon hasil metalotermis dari *fly ash* batubara yaitu pada tabel 5.

**Tabel 5.** Kadar silikon hasil metalotermis dari silika *fly ash*

Suhu (°C)	Kadar Silikon (%)
850	19,5056

Kadar silikon (Si) kasar tersebut lebih kecil, namun selisihnya tidak terlalu jauh dengan dengan kadar silikon hasil metalotermis silika p.a 850 °C.

Massa jenis silikon hasil metalotermis yaitu pada tabel 6.

**Tabel 6.** Penentuan Massa Jenis (ρ)

Suhu Reaksi (°C)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )
850	1,927

Hasil massa jenis tersebut tidak sama dengan literatur yang ada, hal ini menandakan bahwa silikon hasil metalotermis masih terdapat pengotor.

## KESIMPULAN

1. Suhu optimum isolasi silikon dengan reaksi metalotermis menggunakan reduktor Al yaitu 850 °C.
2. Kadar silikon hasil isolasi silika p.a pada 850 °C yaitu 20,716 % dan silikon dari silika *fly ash* batubara yaitu 19,5056 %.
3. Silikon hasil metalotermis dari silika p.a lebih baik dibandingkan dengan silikon hasil metalotermis dari silika *fly ash* batubara, hal ini berdasarkan data analisis yang ada.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada bapak dan ibu Dosen pembimbing dan penguji yang telah membantu terlaksananya penelitian ini. Terimakasih kepada teman-teman yang telah memberikan saran pada pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Armaina, Retnani., Bara'allo Malino, Mariana., Arman, Yudha. 2013. *Penentuan Celah energi (Energy Gap) Silikon Hasil Reaksi Metalotermis Aluminium dan Silika dari Abu Sekam Padi*. ISSN : 2337-8204. Jurnal Prisma Fisika, Vol.1, No. 1, Hal. 56-60. Universitas Tanjungpura Pontianak.
- Hosenainy, Desy. dkk. 2011. *Proses dan Sistem Kontrol di PT PJB Unit 1 dan 2 Paiton (1 juni-30 juni 2011)*. Laporan Praktik tidak diterbitkan. Malang : FMIPA UM.
- Okutani, Takeshi. 2009. *Utilization of Silica in Rice Hulls as Raw Materials for Silicon Semiconductors*. Journal of Materials and Minerals, Vol.19 No.20 pp.51-59.

- Paiton, PJB. 2002. *Material Safety Data Sheet. Probolinggo* : PT. Pembangkitan Jawa Bali Unit Pembangkit Paiton
- Retnosari, Agustin. 2013. *Ekstraksi dan Penentuan Kadar Silika (SiO<sub>2</sub>) Hasil Ekstraksi dari Abu Terbang (Fly Ash) Batubara*. Skripsi. Jember : Kimia FMIPA UNEJ.
- Subakti, Anisah., B.Malino, Mariana., Nurhasanah. 2013. *Optimasi Kandungan Silikon dalam Produk Reaksi Metalotermis Silika dari Abu Sekam Padi dan Aluminium Berdasarkan Lama Waktu Reaksi*. ISSN : 2337-8204. Jurnal Prisma Fisika, Vol.1, No. 2, Hal. 1-3. Universitas Tanjungpura Pontianak.
- Subhan, Ahmad., Oemry, Achiar .,Ginting, Masno., Bayuwati, Dwi dan Dedih. 2002, *Pembuatan Wafer Kristal Tunggal Silikon Berkualitas untuk Sel Surya*, PDII-LIPI.