

**SINTESIS NANOSILIKA DARI LIMBAH *SLUDGE*
GEOHERMAL DENGAN MENGGUNAKAN
METODE *SOL-GEL* DAN PENGERINGAN
*MICROWAVE***

LAPORAN PENELITIAN

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

Oleh:

Yuro Windianto
(2016620034)

Pembimbing:

Ratna Frida Susanti, Ph.D.
Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2020

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL: **SINTESIS NANOSILIKA DARI LIMBAH *SLUDGE GEOTHERMAL*
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SOL-GEL* DAN PENGERINGAN
*MICROWAVE***

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, Juni 2020

Pembimbing 1



Ratna Frida Susanti, Ph.D.

Pembimbing 2



Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.



JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Yuro Windianto

NRP : 6216034

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian yang berjudul :

SINTESIS NANOSILIKA DARI LIMBAH *SLUDGE GEOTHERMAL* DENGAN MENGUNAKAN METODE *SOL-GEL* DAN PENGERINGAN *MICROWAVE*

adalah hasil pekerjaan saya, dan seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi peraturan yang berlaku.

Bandung, 24 Juni 2020

Yuro Windianto

(6216034)

LEMBAR REVISI

JUDUL: **SINTESIS NANOSILIKA DARI LIMBAH *SLUDGE GEOTHERMAL*
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SOL-GEL* DAN PENGERINGAN
*MICROWAVE***

CATATAN:



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 26 Juni 2020

Penguji 1



Arenst Andreas Arie, S.T., S.Si., M.Sc., Ph.D.

Penguji 2



Hans Kristianto, S.T., M.T.

KATA PENGANTAR

Penulis panjatkan Puji Syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan anugerah-Nya, laporan penelitian ini dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Laporan penelitian ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar Sarjana Teknik Kimia di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Dalam penyusunan laporan penelitian ini, penulis banyak menerima bimbingan, masukan, saran, kritik, arahan, dukungan dan bantuan informasi dari berbagai pihak mengenai topik penulisan laporan ini. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah turut berperan dan berkontribusi dalam penelitian ini, terutama kepada:

1. Ratna Frida Susanti, Ph. D. dan Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng., sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta saran selama proses penelitian ini.
2. Keluarga yang senantiasa memberikan dorongan dan motivasi secara moril maupun materiil.
3. Rekan-rekan yang telah memberikan dukungan dan semangat selama proses penelitian ini.
4. Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam proses penelitian,

Akhir kata dengan seluruh kerendahan hati, penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan penelitian ini yang merupakan keterbatasan kemampuan dan wawasan penulis. Dengan demikian, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca sehingga dapat menjadi masukan untuk penelitian selanjutnya. Semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca dan membutuhkan.

Bandung, Mei 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
INTISARI.....	x
ABSTRACT.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	2
1.3 Identifikasi Masalah.....	2
1.4 Premis.....	2
1.5 Hipotesis.....	2
1.6 Tujuan Penelitian.....	3
1.7 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Nanopartikel.....	5
2.2 Sintesis Nanopartikel.....	6
2.2.1 Pendekatan <i>Bottom-Up</i>	6
2.2.2 Pendekatan <i>Top-Down</i>	8
2.3 Limbah <i>Geothermal</i>	8
2.4 Ekstraksi Padat-Cair (<i>Leaching</i>).....	10
2.5 Unsur Si.....	11
2.5.1 Silikon.....	11
2.5.2 Silika.....	11
2.5.3 Silika Amorf.....	13
2.5.4 Silika Mikroamorf.....	14
2.6 Sintesis Nanosilika dengan Metode <i>Sol-Gel</i>	15
2.6.1 Hidrolisis dan Kondensasi.....	16
2.6.2 Gelasi.....	18
2.6.3 Pematangan/ <i>Aging</i>	19
2.6.4 Pengeringan.....	21
2.7 Faktor Dalam Proses Sintesis dengan Metode <i>Sol-Gel</i>	23
2.7.1 Prekursor.....	23
2.7.2 Katalis (pH).....	23
2.7.3 Pelarut.....	24
2.7.4 Temperatur.....	25
2.7.5 Waktu.....	25
2.8 Karakterisasi Nanopartikel.....	25
2.8.1 SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	25

2.8.2	BET (<i>Brunauer-Emmett-Teller</i>)	26
2.8.3	XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	26
2.8.4	XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>).....	28
BAB III METODE PENELITIAN		29
3.1	Gambaran Umum Penelitian	29
3.2	Bahan dan Alat Penelitian	29
3.3	Prosedur Penelitian	31
3.3.1	Prosedur Pendahuluan.....	31
3.3.2	Prosedur Utama	33
3.4	Variasi Percobaan	35
3.5	Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	35
BAB IV PEMBAHASAN		37
4.1	Pengaruh <i>Leaching</i> Terhadap Proses Sintesis Nanosilika	37
4.2	Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Proses Sintesis Nanosilika	40
4.3	Pengaruh Variasi Daya Pengeringan Terhadap Proses Sintesis Nanosilika	44
4.4	Karakterisasi Nanosilika	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		56
LAMPIRAN A MATERIAL SAFETY DATA SHEET.....		61
A.1	Nanosilika (SiO ₂).....	61
A.2	Natrium Hidroksida (NaOH).....	62
A.3	Asam Klorida (HCl).....	64
LAMPIRAN B HASIL ANALISIS		66
B.1	Analisis X-Ray Diffraction (XRD).....	66
B.2	Analisis Brunauer–Emmett–Teller (BET)	66
B.3	Analisis X-Ray Fluorescence (XRF)	68
B.4	Analisis Scanning Electron Microscopy (SEM).....	70
B.5	Analisis Transmission Electron Microscopy (TEM)	71
B.6	Analisis Particle Size Analyzer (PSA).....	73
LAMPIRAN C CONTOH PERHITUNGAN		75
C.1	Perhitungan <i>Yield</i>	75
C.2	Perhitungan Normalisasi Komposisi	75
C.3	Perhitugan Penurunan Persentase Massa	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram <i>Flame Spraying Synthesis</i>	7
Gambar 2.2 Skema Pirolisis (Kalyane, 2017)	7
Gambar 2.3 Proses Penggilingan Bola.....	8
Gambar 2.4 Skema Sederhana Metode Sol-Gel (Pierre, 1998).....	16
Gambar 2.5 Reaksi Memungkinan pada Si(OR) ₄ dalam Proses Sol-Gel	17
Gambar 2.6 Struktur Perkembangan Silika Gel	18
Gambar 2.7 Perubahan Volume SiO ₂ Selama Sineresis	20
Gambar 2.8 Hubungan Antara Laju Air yang Hilang dengan Air Dalam Gel	21
Gambar 2.9 Laju Relatif Si(OR) ₄ , Hidrolisis, dan Kondensasi Terhadap pH.....	24
Gambar 2.10 Skema SEM (Roy, 2018)	25
Gambar 2.11 Proses Difraksi Interferensi Konstruktif	26
Gambar 2.12 Interferensi Konstruktif (Metode Laue)	27
Gambar 2.13 Interferensi Destruktif (Metode Laue)	27
Gambar 2.14 Interferensi Konstruktif (Metode Serbuk)	28
Gambar 2.15 Interferensi Destruktif (Metode Serbuk).....	28
Gambar 3.1 Skema Peralatan Leaching dan Pembentukan <i>Precursor</i>	30
Gambar 3.2 Skema Peralatan Pengeringan dengan <i>Microwave</i>	30
Gambar 3.3 Skema Prosedur Pendahuluan	31
Gambar 3.4 Skema Prosedur Utama	31
Gambar 3.5 Skema Kerja Prosedur Pendahuluan.....	32
Gambar 3.6 Skema Kerja Prosedur Utama	34
Gambar 4.1 Skema Percobaan Pendahuluan	37
Gambar 4.2 Hasil <i>Leaching</i>	37
Gambar 4.3 Skema Percobaan Utama.....	40
Gambar 4.4 <i>Precursor</i> Na ₂ SiO ₃	41
Gambar 4.5 Gel Silika Basah	41
Gambar 4.6 Reaksi Kondensasi Si(OH) ₄ (Hench, 1998)	41
Gambar 4.7 Reaksi Polikondensasi Si(OH) ₄ (Hench, 1998)	42
Gambar 4.8 Gel Silika Hasil Filtrasi.....	42
Gambar 4.9 Nanosilika.....	42
Gambar 4.10 Grafik Perubahan Massa Pada Variasi Daya Pengeringan <i>Microwave</i>	45
Gambar 4.11 Ilustrasi Perpindahan Panas dan Massa Pada Pengeringan Konvensional dan <i>Microwave</i> (Fang, 2015)	46
Gambar 4.12 Hasil Karakterisasi XRD (A) NSH; (B) NSM; (C) NSL; (D) NSOven	47
Gambar 4.13 Kristal NaCl Dalam Nanosilika	47
Gambar 4.14 Kristal NaCl.....	47
Gambar 4.15 Klasifikasi Kurva <i>Isotherm</i> (Thommes, 2015).....	48
Gambar 4.16 Kurva <i>Isotherm</i> Nanosilika	48
Gambar 4.17 Hasil Karakterisasi SEM	50
Gambar 4.18 Hasil Karakterisasi TEM.....	51
Gambar 4.19 Ukuran Partikel Nanosilika	51
Gambar 4.20 Hasil Karakterisasi XRD NSH	51
Gambar 4.21 Hasil SAED NSH	52
Gambar 4.22 Hasil Karakterisasi PSA.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Premis Sintesis Nanopartikel dengan Metode Sol-Gel	4
Tabel 2.1 Aplikasi Nanopartikel (Pangi, et al., 2003)	5
Tabel 2.2 Kandungan Senyawa Anorganik Serbuk <i>Geothermal</i> (Syakur, 2011).....	9
Tabel 2.3 Kandungan Unsur Logam Lumpur <i>Geothermal</i> (Suprpto, 2009)	10
Tabel 2.4 Klasifikasi Silika (Barby, 1976).....	12
Tabel 2.5 Kelebihan dan Kekurangan Metode Sol-Gel (Vansant, 1995)	16
Tabel 3.1 Variasi Percobaan.....	35
Tabel 3.2 Jadwal Rencana Kerja Penelitian	36
Tabel 4.1 Komposisi <i>Sludge Geothermal</i> Terhadap Perlakuan <i>Leaching</i>	38
Tabel 4.2 Komposisi Nanosilika Terhadap Perlakuan <i>Leaching</i>	39
Tabel 4.3 Komposisi Nanosilika Dengan Variasi Konsentrasi NaOH	42
Tabel 4.4 Massa Nanosilika Dengan Variasi Konsentrasi NaOH	43
Tabel 4.5 Komposisi Nanosilika Dengan Variasi Pengeringan	47
Tabel 4.6 Hasil Karakterisasi BET	48
Tabel 4.7 Rangkuman Penelitian Nanosilika Sebelumnya	54

INTISARI

Nanosilika merupakan silika dalam ukuran nanopartikel yang umum digunakan sebagai bahan peneras beton dan pengirim obat pada tubuh pada masa kini. Silika amorf merupakan jenis silika yang diminati dalam dunia industri karena kegunaan serta sifat yang unik dan umum diaplikasikan pada berbagai dunia industri. Salah satu sumber silika amorf yang kini giat dikembangkan adalah limbah *geothermal* dari PT. Geo Dipa, Dieng yang berjumlah 165 ton/bulan. Limbah *geothermal* tersebut hanya ditampung pada tempat penampungan dan tidak mengalami proses lebih lanjut padahal limbah *geothermal* tersebut terdiri atas *sludge geothermal* yang mengandung silika amorf sebesar 90-98% yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber utama silika pada sintesis nanosilika.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan nanosilika dengan metode *sol-gel* yang memiliki kemurnian tinggi dan luas permukaan terbesar dengan bahan baku limbah *sludge geothermal*. Penelitian ini melakukan variasi konsentrasi NaOH untuk menghasilkan *precursor* yang dapat mempengaruhi kemurnian partikel dan pada tahap pengeringan akhir menggunakan *microwave* dengan variasi daya *microwave low, medium, medium-high, dan high* yang dapat mempengaruhi luas permukaan nanopartikel tersebut. Nanosilika tersintesis dari penelitian ini dikarakterisasi dengan XRF, XRD, SEM, TEM, BET, dan PSA untuk mengetahui komposisi, kristalinitas, ukuran partikel, luas permukaan, dan morfologi pada nanosilika yang disintesis.

Sintesis nanosilika dari limbah *sludge geothermal* dengan metode *sol-gel* berhasil menghasilkan partikel dalam ukuran nanometer dalam waktu pengeringan yang singkat akibat penggunaan pengeringan *microwave*. Kemurnian nanosilika tertinggi diperoleh sebesar 98%-massa pada variasi NaOH 1 N dengan daya pengeringan *low* (100W), sedangkan luas permukaan terbesar tercapai pada nanosilika dengan daya pengeringan *high* (700 W) dengan waktu pengeringan tercepat selama 20 menit. Kemurnian nanosilika tidak dipengaruhi oleh perlakuan *leaching* terhadap *sludge geothermal*. Peningkatan konsentrasi NaOH menyebabkan perolehan massa nanosilika yang lebih banyak dengan kemurnian tinggi, sedangkan perubahan daya pengeringan *microwave* pada nanosilika menghasilkan luas permukaan yang besar dengan waktu pengeringan yang relatif cepat.

Kata kunci : Nanosilika, *sludge geothermal*, *sol-gel*, *microwave*, karakterisasi

ABSTRACT

At the present time, nanosilica is silica in nanometer size which is commonly used as a concrete hardener and drug delivery in the body. Amorphous silica is a type of silica that is in demand in the industrial world because of its unique and general uses and also the properties that can be applied to various industries. One of many sources of amorphous silica that is now being developed is geothermal waste from PT. Geo Dipa, Dieng with quantity about 165 tons/month. The geothermal waste is only accommodated in a pond and doesn't undergo further processing even though the geothermal waste consists of geothermal sludge which is containing 90-98% of amorphous silica that can be used as the main source of silica in nanosilica synthesis.

This research aims to produce nanosilica with the sol-gel method that has high purity and the largest surface area with raw material for geothermal sludge waste. This research variation of NaOH concentration to produced precursors that could affect the purity of particles and in the final drying stage used a microwave with the variation power of low, medium, medium-high, and high microwave power that could affect the surface area of the nanoparticles. Nanosilica synthesized from this research was characterized by XRF, XRD, SEM, TEM, BET, and PSA to determine the composition, crystallinity, particle size, surface area, and morphology of synthesized nanosilica.

Synthesis of silica nanoparticle from geothermal sludge waste with the sol-gel method succeeded in producing nanometer-sized particles in a short drying time due to the use of microwave drying. The highest purity of nanosilica was obtained about 98%-mass in the variation of NaOH 1 N with low drying power (100W), while the largest surface area was achieved in nanosilica with high drying power (700 W) with the fastest drying time for 20 minutes. The purity of nanosilica wasn't affected by the leaching treatment of geothermal sludge. The increased in NaOH concentration results in the yield of nanosilica mass with high purity, while the variation of microwave drying power in nanosilica resulted in a large surface area with relatively fast drying time.

Keyword: Nanosilica, sludge geothermal, sol-gel, microwave, characterization

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanosilika adalah senyawa silika berukuran nanopartikel dengan karakteristik dan sifat yang unik. Nanosilika memiliki porositas tinggi dan luas permukaan yang besar dan dapat diaplikasikan pada polimer sebagai perekat, untai serat optik, tinta, cat, pelapis, kosmetik, aditif makanan, dan bahan bangunan berbasis semen (Hessien et al., 2009). Nanosilika umum digunakan sebagai nanofiler pada pembuatan nanokomposit (Dorigato et al., 2012). Nanosilika kini banyak dikembangkan karena jumlah silikon (Si) yang melimpah, terbanyak setelah oksigen (Akhayere, 2019).

Nanosilika secara umum disintesis secara kimiawi, dengan metode kopresipitasi, *sol-gel*, mikroemulsi, dan hidrotermal (Eddy, 2016). Metode *sol-gel* merupakan metode yang umum digunakan karena mampu mengontrol ukuran partikel, distribusi ukuran dan morfologi melalui parameter reaksi (Ardiansyah, 2015), proses terjadi pada temperatur rendah, proses sederhana, produk yang dihasilkan memiliki kemurnian tinggi (Wardiyati, 2017).

Salah satu sumber melimpah silika berasal dari industri PLTP yakni dalam bentuk limbah panas bumi/limbah *geothermal*. Salah satu penghasil limbah *geothermal* dalam jumlah besar adalah PLTP Geo Dipa, Dieng, Jawa Tengah dengan jumlah 165 ton/bulan (Sulardjaka, 2013). Limbah *geothermal* yang mengandung garam logam dan logam berat (Fe, Ti, Mg, Ar, Zn, Br, Cd, Ni, Cu) yang berpotensi mencemari lingkungan karena dibuang langsung ke tempat penampungan limbah (Sulardjaka, 2013) dan sebagai tanah urug (Muljani, 2013).

Pada penelitian ini akan melakukan sintesis nanosilika dengan bahan baku limbah *sludge geothermal* (SG) dari PLTP Geo Dipa, Dieng dengan metode *sol-gel* dan pengeringan dengan *microwave*. Jenie, dkk. (2018) telah melakukan penelitian serupa dengan melakukan variasi pada durasi *aging* selama 18 hingga 72 jam pada temperatur ruang dengan pengeringan gel menggunakan oven yang berlangsung selama 1 malam dengan hasil area permukaan terbesar pada waktu *aging* selama 18 jam.

Pengeringan dengan *microwave* pada penelitian ini dilakukan untuk mempersingkat waktu pengeringan dan diharapkan dapat menghasilkan nanosilika dengan kemurnian tinggi berbentuk amorf dengan luas permukaan yang besar. Pengeringan dengan *microwave*

mempertimbangkan kebutuhan alat yang mudah didapatkan dan dioperasikan dibandingkan melakukan pengeringan dengan metode pengeringan beku atau pengeringan superkritik. Nanosilika hasil penelitian akan dikarakterisasi untuk mengetahui komposisi, ukuran dan luas permukaan nanosilika tersebut.

1.2 Tema Sentral Masalah

Penelitian ini merupakan pemanfaatan limbah *sludge geothermal* yang mengandung silika yang melimpah sehingga dapat menjadi sumber silika. Penelitian ini melakukan sintesis nanosilika metode *sol-gel* dengan variasi pada konsentrasi NaOH pada 1 N hingga 2,5 N dan daya *microwave* dari *low* hingga *high* sebagai pengeringan akhir gel yang terbentuk hingga terbentuk padatan nanosilika (NS).

1.3 Identifikasi Masalah

Berdasarkan tema sentral masalah tersebut, beberapa masalah yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *leaching* terhadap karakteristik (komposisi, kristalinitas, ukuran partikel, luas permukaan dan morfologi) pada nanosilika?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi NaOH terhadap karakteristik nanosilika?
3. Bagaimana pengaruh daya *microwave* sebagai proses pengeringan terhadap karakteristik nanosilika?

1.4 Premis

Penelitian ini dilakukan berdasarkan beberapa literatur yang memiliki korelasi seperti yang tercantum pada **Tabel 1.1** sehingga dapat menetapkan variasi penelitian, variabel proses, bahan, dan alat sesuai dengan penelitian.

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang berdasarkan studi literatur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Proses *leaching* pada prosedur pendahuluan akan mengurangi komposisi pengotor, seperti unsur Fe sehingga dapat menghasilkan nanosilika dengan kemurnian tinggi.
2. Konsentrasi NaOH yang lebih besar akan meningkatkan unsur Si pada nanosilika.
3. Daya *microwave* yang lebih besar pada proses pengeringan silika gel akan menyebabkan pengurangan kadar air yang lebih besar dan menghasilkan bentuk nanosilika yang seragam.

1.6 Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk menghasilkan nanosilika dari limbah *geothermal* dengan metode *sol-gel* dan pengeringan *microwave* sehingga dihasilkan nanosilika dengan kemurnian tertinggi dan luas permukaan terbesar. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi NaOH terhadap karakteristik nanosilika.
2. Mengetahui pengaruh daya *microwave* pada proses pengeringan akhir terhadap karakteristik nanosilika.

1.7 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Bagi mahasiswa, penelitian ini diharapkan dapat menjadi pembelajaran dalam pemanfaatan limbah *sludge geothermal* menggunakan metode *sol-gel* untuk menghasilkan nanopartikel dengan kemurnian tinggi.
2. Bagi industri, penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi mengenai pemanfaatan limbah *geothermal* sebagai alternatif sumber silika untuk menghasilkan produk seperti nanosilika yang bernilai jual tinggi dan dapat dimanfaatkan dalam berbagai proses industri.
3. Bagi ilmuwan, penelitian ini dapat menjadi sumber informasi pemanfaatan limbah industri untuk menghasilkan produk bernilai tinggi seperti nanosilika dari limbah *sludge geothermal*.

Tabel 1.1 Premis Sintesis Nanopartikel dengan Metode *Sol-Gel*

Literatur	Bahan Baku	Kondisi Operasi							Hasil Produk					
		Pelarut	Katalis	pH	Pengeringan		Waktu Aging		NP	Ukuran Partikel (nm)	Luas Permukaan (g/m ²)			
					Metode	Temperatur (°C)	Durasi	Waktu				Temperatur (°C)		
Jenie dkk. (2018)	Limbah Geothermal 20 gram	NaOH 1,5 N	HCl 2 N	5 kemudian 7 (netralisasi)	Oven	100	1 malam	18 Jam	-	SiO ₂	-	289		
								43 Jam				175		
								72 Jam				15		
Budhiarti, Galuh dan Zainul Arifin Imam Supardi (2015)	1,1 M 1,86 M 2,34 M	TEOS	Aquadest 1 M	NH ₃ 0.2 M	-	Furnace	100	2 malam	63 Hari	80	SiO ₂	216,9 – 291,9		
									90 Hari			110,3 - 145,3		
									134 Hari			34,4 – 67,1		
Azlina, H. N., dkk. (2016)	TEOS 18 ml	6.4 ml Air Suling	36 ml CH ₃ COOH	-	-	60	1 hari	2 jam	-	-	-	±79,68		
								4 jam				±147,6		
								6 jam				±156,7		
Shahini (2011)	Titanium Isopropoksida	Air	Trietanolamin	9.8	Udara Kering	80	-	2 jam	130	TiO	10	155		
								4 jam				±153,9		
								6 jam				±162,9		
Yonathan, Daniel dkk. (2016)	Sekam Padi	Metanol	H ₂ SO ₄ pekat	2 (Penambahan H ₂ SO ₄) kemudian 8 (Penambahan NH ₄ OH)	Oven	110	12 jam	4 jam	-	SiO ₂	-	-		
								8 jam				130	9	169
								12 jam				130	12 jam	150
								12 jam	160		24	64		
								1 hari						
								3 hari						
								6 hari						
								1 hari						
								1 hari						