

SILIKA SEKAM PADI

Potensinya sebagai Bahan Baku Keramik Industri

Prof. Simon Sembiring, Ph.D.
Prof. Wasinton Simanjuntak, M.Sc., Ph.D.

 **plantaxia**

Silika Sekam Padi; Potensinya Sebagai Bahan Baku Keramik Industri, *oleh Prof. Simon Sembiring, Ph.D., Prof. Wasinton Simanjuntak, M.Sc., Ph.D.*
Hak Cipta © 2015 pada penulis



Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283
Telp: 0274-889398; Fax: 0274-889057
E-mail: info@grahailmu.co.id

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: 9 7 8 -602-
691 2-00-8

Cetakan Pertama, tahun 2015

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya Buku ini dengan judul: *Potensi Silika Sekam Padi Sebagai Bahan Baku Keramik Industri*. Buku ini dapat digunakan oleh pembaca khususnya peneliti, dosen dan mahasiswa dalam rangka menambah wawasan yang berkaitan dengan sintesis dan karakterisasi keramik berbasis industri yang telah banyak diproduksi pada kalangan industri. Buku ini merupakan kumpulan hasil penelitian yang penulis telah lakukan dan kumpulan informasi dari berbagai referensi. Buku ini dapat diselesaikan berkat biaya yang diberikan oleh Departemen Pendidikan Nasional, DIRJEN DIKTI selama kurun waktu 2007-2012. Hasil-hasil dari penelitian ini sebagian telah penulis publikasikan pada seminar nasional/international maupun jurnal international/ nasional terakreditasi. Buku ini disusun sebagai usaha pengembangan ilmu pengetahuan dan penyempurnaan perkuliahan fisika material, khususnya bidang keramik di tempat penulis bekerja sebagai staf pengajar pada jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini kami menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Departemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan bantuan biaya untuk pelaksanaan penelitian. Rasa terima kasih kami juga tertuju kepada Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Fakultas MIPA jurusan Fisika, Laboratorium Fisika Material jurusan fisika Universitas Lampung, Laboratorium Biomassa MIPA Universitas Lampung, Lembaga Penelitian Universitas Lampung dan BATAN Serpong yang telah membantu mendapatkan data-data penelitian yang ditulis dalam buku ini. Kami merasa masih banyak terdapat kekurangan dalam penelitian dan penulisan buku ini, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan demi perbaikan penelitian dan penulisan di masa yang akan datang. Semoga buku ini dapat diambil manfaatnya bagi kemaslahatan umat manusia.

Bandar Lampung, 2015

Penulis

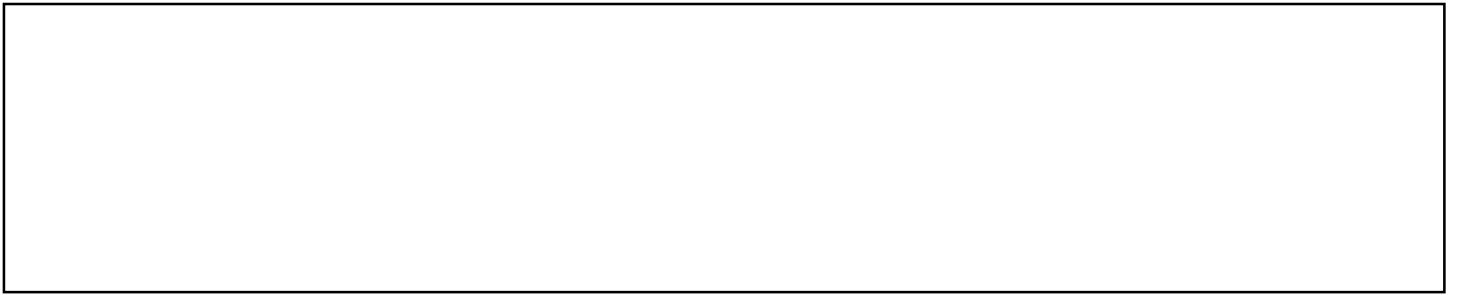


DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	1
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I KERAMIK INDUSTRI BERBASIS SILIKA	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Silika	2
1.3 Pengembangan Keramik Industri	4
1.3.1 Keramik Cordierite	4
1.3.2 Keramik Borosilikat	6
1.3.3 Keramik Mullite	7
1.3.4 Karbosil	8
BAB II SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA SEKAM PADI	11
2.1. Silika Sekam Padi	11
2.1.1 Sekam Padi	11
2.1.2 Perolehan Silika dari Sekam Padi	13
2.2 Ekstraksi Silika Sekam Padi	14
2.3 Pengabuan Silika Sekam Padi	15
2.4 Karakterisasi Silika Sekam Padi	16
2.4.1 Analisis FTIR Silika Sekam Padi	16
2.4.2 Analisis XRD Silika Sekam Padi	17
2.4.3 Analisis SEM Silika Sekam Padi	21
2.4.4 Analisis DTA/TGA Silika Sekam Padi	23

BAB III	SINTESIS DAN KARAKTERISASI KERAMIK CORDIERITE BERBASIS SILIKA SEKAM PADI	27
3.1	Keramik Cordierite	27
3.2	Sintesis Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi	28
3.3	Karakterisasi Keramik Cordierite	30
3.3.1	Analisis Gugus-Fungsi Keramik Cordierite dengan FTIR	30
3.3.2	Analisis Struktur Keramik Cordierite dengan XRD	32
3.3.3	Analisis Mikrostruktur Keramik Cordierite dengan SEM	33
3.3.4	Analisis Termal Keramik Cordierite dengan DTA/TGA	34
3.4	Analisis Karakteristik Fisis Keramik Cordierite	36
BAB IV	SINTESIS DAN KARAKTERISASI KERAMIK BOROSILIKAT BERBASIS SILIKA SEKAM PADI	39
4.1	Keramik Borosilikat	39
4.2	Pembentukan Keramik Borosilikat	40
4.3	Sintesis Keramik Borosilikat	41
4.4	Analisis Keramik Borosilikat dengan Boron Oksida Berbeda-beda	43
4.5	Analisis Keramik Borosilikat dengan Suhu Sintering Berbeda	45
BAB V	SINTESIS DAN KARAKTERISASI KERAMIK MULLITE BERBASIS SILIKA SEKAM PADI	47
5.1	Keramik Mullite	47
5.2	Struktur Keramik Mullite	48
5.3	Metode Sintesis Keramik Mullite	49
5.4	Sintesis Keramik Mullite	52
5.5	Karakteristik Keramik Mullite Berbasis Silika Sekam Padi	52
5.6	Karakteristik Fisis Keramik Mullite	56
BAB VI	SINTESIS DAN KARAKTERISASI KARBOSIL BERBASIS SILIKA SEKAM PADI	59
6.1	Karakteristik Karbosil	59
6.2	Karbosil Silika Sekam Padi	60
6.3	Sintesis Karbosil Silika Sekam Padi	61
6.4	Karakterisasi Karbosil Silika Sekam Padi	62
6.4.1	Analisis Gugus-Fungsi Karbosil dengan FTIR	62
6.4.2	Analisis Struktur Karbosil dengan Difraksi Sinar-x (XRD)	64
6.4.3	Analisis Mikrostruktur Karbosil dengan SEM/EDS	65
6.4.4	Pengukuran Resistivitas Listrik Karbosil	67
BAB VII	METODE KARAKTERISASI MATERIAL	71
7.1	Pendahuluan	71
7.2	Difraksi Sinar-x (XRD)	71
7.2.1	Sumber Sinar-x	71
7.2.2	Prinsip Analisis XRD	72

7.2.3	Mekanisme Analisis XRD	73
7.2.4	Aplikasi XRD	76
7.3	Mikroskop Elektron (SEM)	76
7.3.1	Karakteristik SEM	76
7.3.2	Daya Pisah (<i>Resolution</i>) SEM	77
7.3.3	Kedalaman Fokus (<i>Depth of Focus</i>) SEM	78
7.3.4	Mekanisme Analisis SEM	79
7.4	Infrared Spektroskopi (FTIR)	81
7.4.1	Prinsip FTIR	81
7.4.2	Preparasi Sampel FTIR	85
7.5	<i>Differensial Termal Analysis</i> (DTA/TGA)	85
7.5.1	<i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA)	86
7.5.2	<i>Differential Thermal Analysis</i> (DTA) dan <i>Differential Scanning Calorimetry</i> (DSC)	86
7.6	Metode Sintesis	88
7.6.1	Metode Padatan (<i>Solid Reaction</i>)	88
7.6.2	Metode Sol-Gel (<i>Liquid Reaction</i>)	90
	DAFTAR PUSTAKA	93
	GLOSARIUM	107
	INDEKS	111



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Silika: (a) Bulatan Kecil Menunjukkan Si^{+4} , dan Besar Menunjukkan O^{-2} adalah Susunan Tetrahedral SiO_4^{4-} (b) Satuan $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{6-}$ Tetrahedral Rangkap (Vlack, 1992) dengan Parameter Sel $a = b = 4,821 \text{ \AA}$ dan $c = 4,162 \text{ \AA}$ dan $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$.	3
Gambar 1.2	Struktur Silika (SiO_2) Membentuk Polimorfi Kristobalit, (a) Sel Satuan, Atom Silikon Dikelilingi Oleh Empat Atom Oksigen, (b) Sel Satuan Terdekat Jembatan Oksigen (Smallman dan Bishop, 2000)	4
Gambar 1.3	Sistem Kristal Orthorhombic dengan Parameter sel $a b c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	5
Gambar 2.1	Contoh Sekam Padi	12
Gambar 2.2	Silika Terlarut (sol silica) Hasil Proses Ekstraksi (a) Sekam Padi, (b) sekam Direndam KOH 5%, (c) Filtrat Dididihkan 30 Menit, (D) Filtrat Dipisahkan dengan Alat Saringan dan Didiamkan Selama 24 Jam dan (E) Filtrat (Sol Silica) Didapat dengan Warna Coklat Kehitam-Hitaman (Sembiring, 2007)	14
Gambar 2.3	Hasil Ekstraksi Silika dari Sekam Padi (A) Gel Silika Sebelum Dilakukan Pencucian, (B) Gel Silika yang Telah Dicuci dengan Aquades, (C) Gel Silika yang Telah Dikeringkan, (D) Serbuk Silika dan (E) Silika Pellet (Sembiring, 2007)	15
Gambar 2.4	Hasil Pengabuan Sekam Padi (a) Sekam Padi yang Telah Direndam Menggunakan HCl 1 Molar Selama 3 Jam, (b) Arang Bulk Silica (Suhu 300°C), (c) Abu Bulk Silica (Suhu 600°C), (d) Bulk Silica yang Dipress dengan Berat 2 ton (Sembiring, 2007)	16
Gambar 2.5	Spektrum FTIR Silika dari Sekam Padi dengan Menggunakan Metode (a) Alkalis (b) Pengabuan (Sembiring, 2007)	17
Gambar 2.6	Spektrum Difraksi Sinar-x (XRD) Silika Sekam dengan Menggunakan Metode (a) Alkalis dan (b) Pengabuan	18

Gambar 2.7	Pola Difraksi XRD Silika Sekam Padi yang Disintering pada Suhu 900°C, 1000°C dan 1100°C. Simbol C = kristobalit (PDF-39-1425).	18
Gambar 2.8	Plot Keluaran Hasil Refinement Pola XRD Fasa Keramik Kristobalit Sekam Padi dengan Metode Rietveld pada Suhu Sintering (a) 900 °C, (b) 1000 °C dan (c) 1100°C.	20
Gambar 2.9	SEM Silika Sekam Padi Setelah Disintering pada Suhu (a) 750 °C, (b) 900 °C, (c) 1000 °C dan (d) 1100 °C (Sembiring, 2007).	23
Gambar 2.10	Analisis Termal DTA/TGA Sampel Silika Sekam Padi (i) Tanpa Sintering, (ii) 900 °C, dan (iii) 1100 °C	23
Gambar 3.1	Contoh Serbuk Keramik Cordierite (Minerals, 2001)	27
Gambar 3.2	(a) Silika Terlarut (Sol Silica) dan (b) Campuran Magnesiumnitrat Hydrate dengan Aluminium Nitrat Hydrate Membentuk Larutan Magneium-Alumina	29
Gambar 3.3	Hasil Preparasi (a) Gel Cordierite Sebelum Pengeringan (b) Gel	29
Gambar 3.4	Spektrum FTIR Keramik Cordierite yang Diperoleh (a) Tanpa Sintering dan pada Suhu Sintering (b) 300°C, (c) 500°C, (d) 1200°C, (e) 1250°C, (f) 1300°C, dan (g) 1350°C	30
Gambar 3.5	Spektrum XRD Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi dengan Suhu Sintering (a) 1050 °C, (b) 1100 °C, (c) 1150 °C, (d) 1200 °C, (e) 1250°C, (f) 1300 °C dan (g) 1350 °C. Simbol c: cordierite (PDF-13-0294), k: kristoballite (PDF-39-1425), s: spinel (PDF-21-1152), a: alumina (PDF-46-1212) (Sembiring, 2010)	32
Gambar 3.6	Spektrum Rietveld Keramik Cordierite a) Tanpa Sintering, b) 1100 °C, c) 1200 °C, dan d) 1300 °C (Simanjuntak dan Sembiring, 2011).	33
Gambar 3.7	Mikrostruktur Keramik Cordierite (a) Tanpa Sintering, dan pada Suhu Sintering (b) 300 °C, (c) 500 °C, (d) 1200 °C, (e) 1250 °C, (f) 1300 °C dan (g) 1350 °C.	34
Gambar 3.8	Analisis Termal DTA/TGA Keramik Cordierite (a) Tanpa Sintering, dan pada Suhu Sintering (b) 300 °C, (c) 500 °C, (d) 1200 °C, (e) 1250 °C, (f) 1300 °C dan (g) 1350 °C.	35
Gambar 3.9	Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Fisis (Shrinkage, Densitas, Porositas dan Kekerasan) Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi (a) Densitas, (b) Porositas, (c) Shrinkage, dan (d) Kekerasan	37
Gambar 3.10	Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Konduktivitas Listrik Keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam Padi	37
Gambar 4.1	(a) Hasil Hidrolisis Boraks (Sol Boron Oksida), (b) Sol Borosilikat	41
Gambar 4.2	(a) gel borosilikat (b) serbuk borosilikat	42
Gambar 4.3	Serbuk Pellet Borosilikat (a) Sebelum Sintering dan Setelah Disintering pada Suhu (b) 300 °C, (c) 500 °C, (d) 700 °C, (e) 800 °C, (f) 900 °C, (f) 1000 °C, (g) 1100 °C, (h) 1150 °C dan (i) 1200 °C.	42
Gambar 4.4	FTIR Borosilikat dengan Variasi Konsentrasi Boron-Oksida pada Suhu 900 °C (a) 8:1, (b) 8:2, (c) 8:3 (d) 8:4 and (e) 8:5 (Sembiring, 2011).	43

Gambar 4.5	XRDBorosilikat dengan Variasi Konsentrasi Boron Oksida pada Suhu 900 °C, (a) 8:1, (b) 8:2, (c) 8:3 (d) 8:4 B= Borosilicate (PDF-42-0382), dan Q = Boron-oksida (PDF-44-1085) (Sembiring, 2011).	44
Gambar 4.6	SEM mikrograph borosilikat dengan variasi boron oksida disintering pada 900 °C, (a) 8:1, (b) 8:2, (c) 8:3 (d) 8:4	44
Gambar 4.7	XRDBorosilikat (a) Tanpa Sintering dan (b) 500 °C, (c) 700 °C, (d) 800 °C, (e) 900 °C, (f) 1000 °C dan (g) 1100 °C. (Sembiring, 2010b)	45
Gambar 4.8	SEM Borosilikat (a) Tanpa Sintering, (b) 900 °C, (c) 1000 °C dan (d) 1100 °C	46
Gambar 5.1	Struktur Mullite $Al_2[Al_{2+2x}Si_{2-2x}]O_{10-x}$	46
Gambar 5.2	Diagram Pembentukan Struktur $Al_2O_3-SiO_2$ (Klug, dkk., 1987)	48
Gambar 5.3	Perubahan Struktur Molekul pada Saat Bahan Tercampur dalam Metode Melting (a) Campuran Silika dan Alumina; (b) Partikel yang Mulai Tercampur Akibat (b) Perubahan Suhu; (c) Kristal yang Tumbuh Secara Tunggal dengan Satu Inti	49
Gambar 5.4	Pembentukan Mullite dengan Metode Sol-Gel	50
Gambar 5.5	Hasil Sintesis Mullite Menggunakan Silika Sekam Padi dan Aluminium Nitrat Hidrat (a) Sol Gel Mullite, (b) Gel Mullite, (c) Serbuk Mullite dan Pellet Mullite Serbuk Mullite (Wati, dkk., 2010, Nevivilanti, dkk., 2010).	51
Gambar 5.6	FTIR Mullite Tanpa Suhu Sintering (a), (b) 800 °C, (c) 950 °C, (d) 1050 °C, (e) 1150 °C, (f) 1250 °C dan (g) 1350 °C (Sembiring, dkk., 2014)	52
Gambar 5.7	XRDKeramik Mullite pada Suhu (a) 950 °C, (b) 1150 °C, (c) 1250 °C, dan (c) 1350 °C. M: Mullite, C: Kristobalit dan Q: Quartz A: Alumina (d) (Sembiring, dkk., 2014)	53
Gambar 5.8	SEM Mullite pada Suhu (a) 950 °C, (b) 1050 °C, (c) 1150 °C, (d) 1250 °C dan (e) 1350 °C (Sembiring, dkk., 2014).	54
Gambar 5.9	Pola Differential Thermal Analysis (DTA) Mullite (a) Tanpa Sintering dan (b) 1100 °C, (c) 1200 °C dan (d) 1300 °C (Sembiring dan Simanjuntak 2012)	54
Gambar 5.10	Pengaruh suhu Sintering Terhadap Karakteristik Fisis (Shrinkage, Densitas, Porositas dan Kekerasan) Keramik Mullite (a) Densitas, (b) Porositas, (c) Shrinkage, dan (d) Kekerasan	56
Gambar 5.11	Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Konduktivitas Listrik Keramik Mullite	56
Gambar 6.1	(a) Sekam Padi dan, (b) Sekam Padi Karbosil Hasil Pirolisis pada Suhu 200 °C	59
Gambar 6.2	Hasil Pirolisis Sekam Padi pada Suhu (a) 200 °C, (b) 400 °C, (c) 500 °C, dan (d) 700 °C (Simanjuntak, dkk, 2012)	60
Gambar 6.3	Analisis Spektrum FTIR Hasil Pirolisis Sekam Padi pada Suhu (a) 200 °C, (b) 400 °C, (c) 500 °C, dan (d) 700 °C (Simanjuntak, dkk, 2012)	61
Gambar 6.4	Difraktogram Sampel Karbosil pada Suhu Pirolisis (a) 200 °C, (b) 400 °C dan (c) 700 °C	62
Gambar 6.5	Mikrograph Karbosil, (a) 200°C, (b) 400°C, (c) 500°C dan (d) 700°C	63
Gambar 6.6	Hasil Spektrum EDS Karbosil yang Dipirolisis pada Suhu, (a) 200 °C, (b) 400 °C, dan (c) 700 oC	64

Gambar 6.7	Rangkaian Pengukuran Resistivitas Karbosil	66
Gambar 7.1	Difraksi Sinar-X	71
Gambar 7.2	Skematik Difraksi Sinar-X	72
Gambar 7.3	Perjalanan Sinar-X pada Alat XRD	73
Gambar 7.4	Contoh XRD Silika Sekam Padi pada Suhu 850 °C, 950 °C dan 1050 °C (Sembiring dan Karo-Karo, 2007)	74
Gambar 7.5	Interaksi Sinar dengan Material	76
Gambar 7.6	Skematik Alat SEM	77
Gambar 7.7	Elektron Gun	78
Gambar 7.8	Sistem Optik FTIR	80
Gambar 7.9	FTIR Borosilikat (Sembiring, 200a)	81
Gambar 7.10	Getaran Atom-atom dalam Suatu Senyawa	82
Gambar 7.11	Skema Termogram Reaksi Dekomposisi	84
Gambar 7.12	Metode DTA, Grafik (b) Hasil dari Set-Up yang Diperlihatkan pada (a) dan Grafik (d), Jejak DTA yang Umum, Hasil dari Pengaturan yang Diperlihatkan pada (c)	86
Gambar 7.13	Proses Sol-Gel	89

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Karakteristik Silika (El-Kareh, 1995 dan Surdia dan Saito, 1999)	3
Tabel 1.2	Kristal Utama Silika (SiO_2) dengan Rentang Stabilitas, Struktur dan Densitas (Brindly dan Brown, 1980; Smallman dan Bishop 2000)	3
Tabel 1.3	Karakteristik Fisis Cordierite (Quakertown, 2007)	5
Tabel 1.4	Karakteristik Fisis Borosilikat (Strnad, 1986)	6
Tabel 1.5	Karakteristik Fisis Mullite	8
Tabel 2.1	Komponen Utama dalam Sekam Padi (Daifullah, dkk., 2004)	12
Tabel 2.2	Komposisi Kimia Sekam Padi Kering (<i>Indian Institute of Science Precipitated Silica Technology</i> , 2008)	13
Tabel 2.3	Komposisi Senyawa Oksida dalam Abu Sekam Padi Kering (Faizul, dkk., 2013)	13
Tabel 2.4	Komposisi Kimiawi dari Sekam Padi Hasil Pembakaran/Pengabuan (wt%) (Saiintawoy dan Jaroenwora, 1995) dan Sekam Padi Hasil Ekstraksi (Della, dkk., 2002)	14
Tabel 2.5	Parameter Atom Kristal Kristobalit (Pluth, dkk., 1997)	20
Tabel 2.6	Perbandingan Parameter Kisi Kristobalit pada Input dan Output dalam Refinement pada Sampel Sintering 900 °C, 1000 °C, dan 1100 °C	21
Tabel 2.7	Nilai Reabilitas (R) dan Persen Berat Hasil Refinement Fasa Kristobalit	21
Tabel 2.8	Hasil EDS Komposisi Kimia Silika Sekam Padi dengan Variasi Suhu Sintering (Sembiring, 2007)	22
Tabel 2.9	Hasil DTA Silika Sekam Padi	24
Tabel 2.10	Hasil TGA Silika Sekam Padi	24
Tabel 3.1	Hasil Analisis TGA Sampel Cordierite Terhadap Variasi Suhu Sintering	36
Tabel 3.2	Hasil Analisis DTA Cordierite Terhadap Variasi Suhu Sintering	36
Tabel 4.1	Kandungan Komponen Borosilikat (El-Kheshen, dkk., 2009)	40

Tabel 5.1	Persentase Keramik Mullite (wt %) dengan Metode Rietveld (Sembiring dan Simanjuntak, 2012)	55
Tabel 6.1	Konduktivitas Beberapa Logam dan Nonlogam pada Suhu Ruang (Sze, 1985)	58
Tabel 6.2	Puncak Spektra Gugus Fungsi Sampel Karbosil Berbasis Sekam Padi pada Suhu Pirolisis Berbeda	61
Tabel 6.3	Hasil Komposisi Kimia Karbosil dengan EDS	64
Table 6.4	Konduktifitas dan Resistivitas Listrik Karbosil pada Suhu Pirolisis Berbeda	66
Table 6.5	Konduktifitas dan Resistivitas Listrik Karbosil dengan Tekanan yang Berbeda pada Suhu Pirolisis 200 °C	67
Tabel 7.2	Beberapa Karakteristik SEM (Joy, 1989)	75
Tabel 7.3	Perbandingan Nilai Batas Resolusi	76
Tabel 7.4	Logam–logam Oksida Sebagai Bahan Dasar dalam Sintesis Material dengan Metode Padatan	87
Tabel 7.5	Beberapa Padatan Anorganik dan Fungsinya	88
Tabel 7.6	Logam Alkoksida Sebagai Bahan Dasar dalam Sintesis material dengan Metode Sol-Gel	89

BAB I

KERAMIK INDUSTRI BERBASIS SILIKA

1.1 PENDAHULUAN

Silika merupakan material yang sangat penting dalam kehidupan manusia karena perannya yang besar mulai dari teknologi sederhana hingga tinggi dalam perkembangan ilmu pengetahuan maupun industri. Senyawa ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk beragam industri mulai dari produk sederhana dengan teknologi tradisional seperti peralatan rumah tangga, beragam seni, hingga produk teknologi tinggi seperti industri mobil, elektronik sebagai bahan isolator listrik dan panas. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan berbagai industri seperti gelas, keramik dan elektronik mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan bahan baku, dan sering kali tidak mampu lagi dipenuhi dari sumber-sumber yang umum dimanfaatkan. Sangatlah penting untuk mendapatkan bahan baku terutama yang jumlahnya melimpah baik melalui penelitian tentang karakteristik bahan baku seperti dalam ukuran mikro maupun nano serta penggunaan teknologi untuk mempelajari perilaku sifat fisis seperti termal, listrik, dan mekanik agar dapat diolah/disintesis sebagai bahan berdaya guna dalam mengatasi kekurangan bahan baku di masa akan datang.

Dalam lingkup pemanfaatan bahan alam sebagai sumber bahan baku keramik industri, sekam padi merupakan salah satu residu pertanian yang terdapat dalam jumlah melimpah di berbagai daerah di Indonesia. Meskipun terdapat dalam jumlah melimpah, hingga dewasa ini belum tersebar secara meluas dan dimanfaatkan secara maksimal dan bernilai ekonomis tinggi. Salah satu material penting dalam pembuatan material keramik adalah silika, sehingga pencaharian sumber silika menjadi salah satu aspek penting.

Dikaitkan dengan upaya pencaharian sumber silika tersebut, sekam padi memiliki potensi yang layak didasarkan pada tiga faktor pendukung yakni, (i) ketersediaan sekam padi, (ii) kadar silika dalam sekam dan (iii) kemudahan perolehan silika dari sekam padi. Ketersediaan sekam padi

tercermin dari Indonesia sebagai negara agraris yang jumlahnya melimpah, dan khususnya di Propinsi Lampung, produksi padi berkisar 3 juta ton/tahun, diperkirakan dihasilkan sekam sekitar 600.000 ton/tahun, yakni sekitar 20% dari berat padi yang dihasilkan (Badan Pusat Statistik, Lampung, 2012), dengan kadar silika cukup tinggi, yakni 16-20% berat dari sekam padi (Daifullah, dkk., 2004, Hamdan, dkk., 1997, Yalcin dan Sevinc, 2001).

Untuk mendapatkan silika dari sekam padi dapat dilakukan dengan metode alkalis dan pengabuan, di mana keduanya relatif sederhana dan biaya murah dibandingkan dengan silika mineral. Secara umum, metode alkalis didasarkan pada sifat kelarutan silika yang tinggi dalam basa, dan pengendapan silika terlarut dalam asam, sehingga silika dapat diperoleh dalam bentuk sol. Sementara dengan metode pengabuan didasarkan pada karakteristik tingkat pembentukan kristalinitas silika melalui proses perlakuan termal. Metode alkalis telah dilakukan (Daifullah, dkk., 2003; Daifullah, dkk., 2004; Cheng dan Chang, 1991; Riveros dan Garza, 1986), yang didasarkan pada kelarutan silika amorph yang tinggi dalam larutan alkalis dan pengendapan silika terlarut dalam asam. Hasil yang diperoleh dengan metode alkalis menunjukkan silika dalam bentuk sol sehingga dapat langsung digunakan dalam pembuatan keramik dengan metode sol-gel. Metode pengabuan telah dilakukan peneliti sebelumnya (Natarajan, dkk, 1998; Kalaphaty, dkk., 2000; Della, dkk, 2002; Ramli dan Bahruji, 2003), yang didasarkan pada perubahan tingkat pembentukan kristalinitas silika melalui proses pembakaran dengan suhu terkontrol. Hasil silika yang diperoleh silika padatan sehingga dapat langsung digunakan dengan metode padatan (*solid reaction*).

Berdasarkan karakteristik silika yang diperoleh sebelumnya, berbagai jenis keramik telah dikenal sejak lama dapat disintesis dengan memanfaatkan silika sebagai komponen utama. Tiga jenis keramik yang bernilai tinggi karena dibutuhkan dalam teknologi tinggi di antaranya adalah cordierite, borosilikat, mullite dan karbosisil. Keramik tersebut sangat dibutuhkan dalam berbagai industri karena memiliki keunggulan dibanding jenis keramik lain, yakni memiliki kestabilan termal, tegangan tinggi dengan ekspansi termal dan nilai resistivitas rendah sehingga sangat baik sebagai isolator panas suhu tinggi dan isolator listrik tegangan tinggi.

1.2 SILIKA

Pemanfaatan silika yang begitu luas tidak terlepas dari ketersediaan silika di alam yang berlimpah dengan unsur utama silikon. Silikon (Si) salah satu unsur utama yang terdapat di kerak bumi, dengan bentuk senyawa yang paling banyak ditemukan di alam adalah silika (silikon dioksida), dengan rumus molekul SiO_2 . Silika mempunyai ciri-ciri secara fisis (Tabel 1.1) yakni, berbentuk padatan atau serbuk yang halus, berwarna putih, titik didih dan cair tinggi, serta daya tahan yang tinggi terhadap asam dan basa, serta tidak larut dalam air (Katsuki, dkk., 2005). Silika ditemukan di alam dalam bentuk amorph terhidrat, seperti dan *butie* ($\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_6$), *olivine* ($(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$), *Albite* ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) dan *enstatite* (MgSiO_3). Bila silika dipanaskan terus-menerus pada suhu di atas 650°C cenderung mengalami peningkatan kristalinitas membentuk kristal yakni kristobalit, tridimit dan kuarsa (quartz), yang ditunjukkan pada Tabel 1.2 (Hara, 1988).

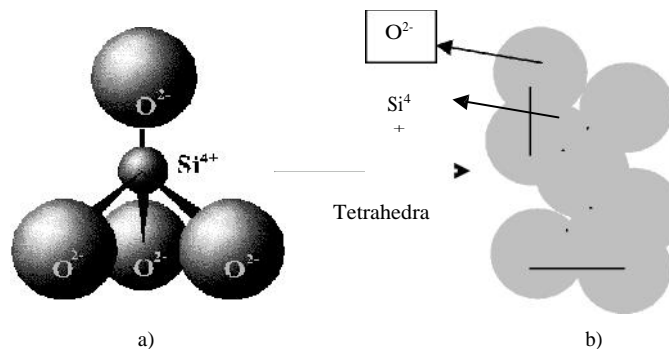
Tabel 1.1 Karakteristik Silika (El-Kareh, 1995 dan Surdia dan Saito, 1999)

Nama Mineral	Silikon Dioksida (Silika)
Koordinasi geometri	Tetrahedral
Bentuk	Padat
Berat Jenis	2,6 gr/cm ³
Titik cair	1610 °C
Titik didih	2230 °C
Kekerasan	650 Kg/mm ²
Kekuatan tekuk	70 Mpa
Kekuatan tarik	110 Mpa
Modulus elastis	73-75 Gpa
Resistivitas	>10 ¹⁷ mm
Konduktivitas termal	3.2. 10 ⁻³ W/(cm K)
Koefisien ekspansi termal	12,3.10 ⁻⁶ K ⁻¹

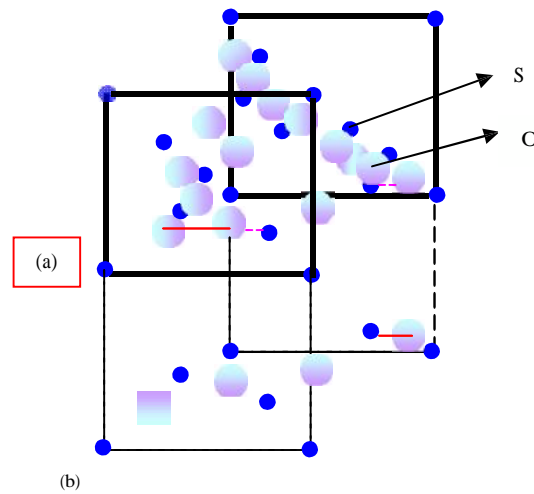
Tabel 1.2 Kristal Utama Silika (SiO₂) dengan Rentang Stabilitas, Struktur dan Densitas (Brindly dan Brown, 1980; Smallman dan Bishop 2000)

Kristal	Rentang (°C)	Struktur	Densitas (kg/m ³)
Kristoblit	> 1470-1723	β - (kubik)	2210
		α - (tetragonal)	2330
Tridimit	870-1470	β - (heksagonal)	2330
		α - (otorhombik)	2300
Kuarsa	<570-870	β - (heksagonal)	2270
		α - (trigonal)	2650

Berdasarkan susunan struktur, silika (Vlack, 1992) terbentuk dari satuan struktur primer silikat tetrahedral SiO₄⁴⁻, di mana satu atom Si⁺⁴ dikelilingi oleh empat atom oksigen yang terikat secara ikatan ionik dan kovalen membentuk ikatan tetrahedral, di mana dua atom silika berikatan dengan setiap atom oksigen (Gambar 1.1 dan 1.2).



Gambar 1.1 Silika: (a) Bulatan Kecil Menunjukkan Si⁺⁴, dan Besar Menunjukkan O⁻² adalah Susunan Tetrahedral SiO₄⁴⁻ (b) Satuan (Si₂O₇)⁶⁻ Tetrahedral Rangkap (Vlack, 1992) dengan Parameter Sel a = b = 4,821 Å dan c = 4,162 Å dan α = β = 90 ° dan γ = 120 °.



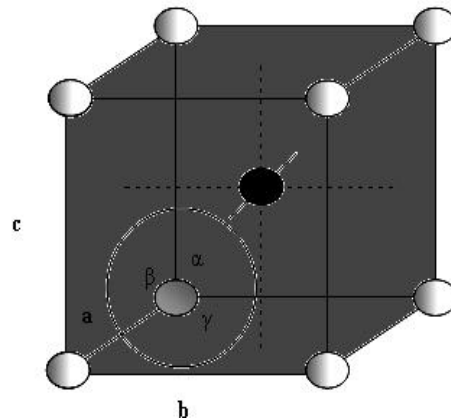
Gambar 1.2 Struktur Silika (SiO_2) Membentuk Polimorfi Kristobalit, (a) Sel Satuan, Atom Silikon Dikelilingi Oleh Empat Atom Oksigen, (b) Sel Satuan Terdekat Jembatan Oksigen (Smallman dan Bishop, 2000)

1.3 PENGEMBANGAN KERAMIK INDUSTRI

1.3.1 Keramik Cordierite

Cordierite merupakan keramik dengan material pembentuknya adalah SiO_2 , Al_2O_3 dan MgO , dengan rumus molekul $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$, atau $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ dengan nama mineralnya cordierite, dalam sistem $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Cordierite sangat jarang ditemukan di alam dan termasuk dalam kelompok senyawa silikat membentuk mineral dengan struktur yang bervariasi (Kingrey, dkk., 1976) seperti entatite, magnesium silicate, μ -cordierite dan α -cordierite, di mana α -cordierite merupakan senyawa yang paling tinggi kandungan silika dan stabil. Sistem $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ telah banyak digunakan sebagai bahan dasar dalam berbagai industri seperti industri gelas, keramik dan industri elektronik, yang memiliki kestabilan termal tinggi, daya tahan terhadap zat kimia yang tinggi, dan koefisien termal rendah (Mussler dan Shafter, 1984; Karmakar, dkk., 2002; Goncalves and Bergmann, 2006). Secara umum, cordierite memiliki ciri-ciri sifat fisik yaitu bentuk padatan atau serbuk berwarna putih, biru muda, *violet* dan kuning dengan massa jenis 2,5-2,7 gr/cc (Tabel 1.3).

Informasi ekspansi termal, konstanta dielektrik dan resistivitas adalah sangat penting untuk memahami material yang dapat diaplikasikan sebagai isolator panas suhu tinggi maupun isolator listrik pada tegangan tinggi. Struktur kristal cordierite adalah *orthorhombic* dengan parameter sel $a \neq b \neq c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dengan parameter $a = 17,133$ nm, $b = 9,741$ nm, dan $c = 3,358$ nm (Smith, 1990; Cullity, 1992), seperti yang disajikan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Sistem Kristal Orthorhombic dengan Parameter sel $a \neq b \neq c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

Tabel 1.3 Karakteristik Fisis Cordierite (Quakertown, 2007)

Karakteristik	Nilai
Warna	Tak berwarna, putih, biru muda, violet, dan kuning
Massa Jenis (<i>specific gravity</i>)	2,5– 2,7(gr/cc)
Kekerasan (<i>hardness</i>)	7 – 7,5 (Mohs)
Kekuatan Renggang	3,5 – 5,5 (kpsi)
Modulus Elastisitas	12 (psi $\times 10^6$)
Flexural Strength	8 – 17 (kpsi)
Compressive Strength	35 – 51(kpsi)
Dielectric Strength	212 (ac volts/mil)
Dielectric Constant	9,3 (pada 1 MHz)
Volume Resistivitas	$>10^{14}$ (ohm-m ² /cm)
Koefisien Ekspansi Termal	$6,8 (\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$
Konduktivitas Termal	18 (W/m ² K)
Panas Spesifik	0,21(cal/g $^\circ\text{C}$)
Temperatur Maksimal	1700 ($^\circ\text{C}$)
Shock Resistance	300 ($^\circ\text{C}$)

Bridge, dkk., (1985) telah mempelajari karakteristik termal dengan nilai ekspansi termal $1.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, sementara Mussler dan Shafter, (1984) dengan nilai $2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, sehingga sangat baik sebagai bahan isolator panas. Mussler dan Shafter, (1984) juga melaporkan bahwa nilai konstanta dielektrik = 5-6, dan nilai resistivitas $> 10^{12}$ (Bridge, dkk., 1985) sehingga keramik cordierite juga sangat baik sebagai isolator listrik tegangan tinggi.

Keramik cordierite dapat disintesis dengan berbagai metode di antaranya, metode reaksi-padatan (*solid-reaction*) (Kurama and Kurama, 2006; Kobayashi, dkk., 2000; Kurama, 2002; Kurama dan Ozel, 2004), metode sol-gel (Douy, 1992; Naskar dan Chatterjee, 2004; Naskar dan

Chatterjee, 2005) dan metode peleburan (*melting*) (Rudolfh, dkk., 1993; dan Amista, dkk., 1995). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pembentukan struktur tergantung bahan baku dan suhu sintering, yakni pembentukan optimum struktur cordierite terjadi pada suhu sintering 1350°C (Kurama dan Kurama, 2006) dan pada suhu sintering 1250°C (Naskar dan Chatterjee, 2004).

1.3.2 Keramik Borosilikat

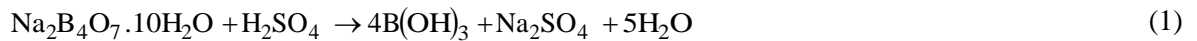
Keramik borosilikat (B_2SiO_5) memiliki daya tahan terhadap zat kimia yang tinggi, tahan terhadap perubahan temperatur, koefisien linear rendah (McMillan, 1979), dengan komposisi kimia utama, 80%wt SiO_2 dan 13%wt B_2O_3 dan komponen lain 4% Na_2O . Keramik borosilikat memiliki koefisien ekspansi termal $3,3 \times 10^{-6}/C$, konduktivitas termal, 1,2W/mC dengan densitas 2,23 g/cm³ seperti yang disajikan pada Tabel 1.4 (Strnad, 1986). Sifat lain yang tak kalah pentingnya, borosilikat adalah bahan yang berefraktori dengan indeks bias 1.51-1.54 sehingga banyak digunakan sebagai gelas dalam laboratorium seperti pipa pendingin/*pie coolent*, dan *transmitter* (Sheffield, 2001).

Tabel 1.4 Karakteristik Fisis Borosilikat (Strnad, 1986)

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Koefisien ekspansi termal (20 °C – 300 °C)	K ⁻¹	$3,3 \times 10^{-6}$
2	Densitas	gr/cm ³	2,23
3	Indeks refraksi		1,474
4	Konstanta dielektrik (1 MHz, 20 °C)		4,6
5	Kalor jenis (20 °C)	J/kg°C	750
6	Konduktifitas thermal (20 °C)	W/m°C	1,2
7	Rasio Poisson's (25 °C – 400 °C)		0,2
8	Modulus Young's (25 °C)	kg/mm ²	6400
9	<i>Strain Point</i>	°C	510
10	<i>Anneal Point</i>	°C	560
11	<i>Soften Point</i>	°C	821
12	<i>Max. Thermal Shock</i>	°C	160

Secara umum, pembentukan borosilikat terdiri dari komponen utama SiO_2 (silika) dan B_2O_3 (boron oksida). Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dengan menggunakan silika dan boron oksida, antara lain Miura dkk (1988) dengan komposisi bahan baku SiO_2 80%, B_2O_3 15%, dan Na_2O 5% berat. Silika yang digunakan dapat berasal dari mineral seperti pasir kuarsa, atau senyawa kimia seperti tetraethyl orthosilicate (TEOS), tetra-butylsilane triol [$BuSi(OH)_3$], dan $Si(OC_2H_5)_4$. Boron oksida (B_2O_3) sebagai komponen utama dalam pembuatan borosilikat, dapat diperoleh dari unsur boron yang teroksidasi atau senyawa boraks seperti boric acid (H_3BO_3), trymethylborate, priceite ($Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$), $B(OCH_3)_3$, dan boron tri-n-butoxide (BTB). Sebagai

contoh, boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dapat digunakan sebagai bahan dalam pembuatan borosilikat, dimana tersusun atas boron oksida ($\text{B}_2\text{O}_3 = 36.6 \%$), sodium oksida ($\text{Na}_2\text{O} = 16.2 \%$) dan molekul air ($\text{H}_2\text{O} = 47.2 \%$). Boraks merupakan senyawa yang mudah untuk dihidrolisis, terutama dengan menggunakan larutan asam seperti H_2SO_4 dan HCl sehingga menghasilkan asam borat $[\text{B}(\text{OH})_3]$ yang merupakan sumber boron oksida (B_2O_3). Pembentukan borosilikat dapat dilakukan dengan reaksi sebagai berikut (Liu dkk, 2001):



Reaksi (1) di atas menghasilkan asam borat $[\text{B}(\text{OH})_3]$, kemudian dilakukan proses pemisahan dengan memberikan perlakuan panas untuk mendapatkan B_2O_3 dengan reaksi sebagai berikut:



Dengan menggunakan teknik sol-gel, boron oksida (B_2O_3) yang diperoleh dari reaksi (4) dicampurkan dengan silika (SiO_2) dapat membentuk B_2SiO_5 (borosilikat) menurut reaksi (5):



1.3.3 Keramik Mullite

Keramik dengan nama mineral, mullite dalam sistem $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ adalah kelompok senyawa yang sangat jarang ditemukan di alam, dengan struktur kimia alumina (Al_2O_3) dan silika (SiO_2) membentuk mineral dengan struktur yang bervariasi (Kingrey, dkk., 1976) seperti andalusite, kyanite, sillimanite, dan mullite, dimana mullite merupakan senyawa yang paling stabil. Mineral mullite dengan komposisi dominan silika adalah $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ dan $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ yang dominan adalah alumina. Sistem $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ telah digunakan sebagai bahan dasar dalam berbagai industri seperti industri gelas, industri keramik, industri elektronik dan menarik untuk dikaji karena memiliki kestabilan termal tinggi, daya tahan terhadap zat kimia yang tinggi, dan koefisien termal rendah. Mullite dikenal juga sebagai keramik suhu tinggi karena memiliki kestabilan termal tinggi (Lessing, dkk., 1975; Kollenberg and Schneider, 1989; dan Paulmann, 1996) dengan titik lebur mencapai $1828 \text{ }^\circ\text{C}$ (Mazdiyasi dan Brown, 1972; Aksay dan Pask, 1975), ekspansi termal dan konduktivitas panas yang rendah (Yamuna, dkk., 2004, Somiya dan Hirata, 1991). Beberapa hasil penelitian tentang sifat fisis mullite dapat dilihat pada Tabel 1.5.

Informasi ekspansi termal dan konduktivitas termal adalah sangat penting untuk memahami material yang dapat diaplikasikan sebagai isolator panas pada suhu tinggi. Torrecillas, dkk., (1999) telah mempelajari perilaku ekspansi termal keramik mullite sebagai pembungkus peralatan elektronik diperoleh koefisien ekspansi termal $4.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ dan konduktivitas termal, 0.006 W/emK .

Selain itu, Al-Jarsha, dkk., (1990) melaporkan bahwa koefisien ekspansi termal yaitu $3.5 \times 10^{-6}/C$ dan $2.5 \times 10^{-6}/C$ (Schneider, dkk., 1994), sehingga sangat baik digunakan sebagai bahan isolator panas. Al-Jarsha, dkk., (1990) juga melaporkan bahwa nilai konstanta dielektrik $\epsilon = 6-7$, dan nilai resistivitas (ρ) $> 3 \times 10^{12} \Omega\text{cm}$, sehingga keramik mullite juga sangat baik digunakan sebagai bahan isolator listrik tegangan tinggi. Sifat lain yang tak kalah pentingnya, bahwa mullite adalah bahan berrefraktori tinggi (Somiya and Hirata, 1991), sehingga sudah banyak diaplikasikan sebagai penukar panas, bahan furnace dan bahan pelapis logam.

Tabel 1.5 Karakteristik Fisis Mullite

Parameter	Nilai	Referensi
Densitas (gr/cm^3)	3,16-3,22	Lee dan Rainforth, 1994
<i>Fracture toughness</i> ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)	1,5-3	Kriven dkk., 2004;
<i>Modulus young</i> (GPa)	140-250	
<i>Compressive strength</i> (GPa)	0,5517-1,3103	
<i>Hardness</i> (GPa) pada 27–1000 °C	16-10	Pitchford dkk., 2001
pada 1000-1400 °C	10-4	
Konduktivitas <i>thermal</i> ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{k}^{-1}$)		Schneider dan Komarneni, 2005
Pada 1200 °C	3,76	
Pada 1400 °C	3,76	Chaudhuri dkk., 1999
Resistivitas listrik ($\Omega\cdot\text{cm}$)		
pada 27-500 °C	10^{13} - 10^8	Viswabaskaran dkk., 2003
pada 500-1400 °C	10^8 - 10^4	
Konstanta dielektrik pada 1 Mhz	6,5	Schneider dkk., 1994
Titik lebur (°C)	7,0	
Koefisien ekspansi <i>thermal</i>	1840	Chiang dkk., 1977
($\times 10^{-6}/C^{-1}$)	1890	
pada 300-1000 °C	5,3	Klug dkk., 1987
pada 1000-1600 °C	7,5	Brunauer dkk., 2001
	4,5 – 5,6	Montanaro, 1997

1.3.4 Karbosil

Karbosil adalah salah satu material dengan komposisi pembentuknya terdiri dari silika dan karbon. Pada saat ini karbosil menjadi material yang cukup menarik untuk digali baik dari segi bahan baku, pembuatan dan sifat komposisi silika dan karbon. Dari sifat komposisi silika dan karbon, karbosil merupakan material penunjang untuk dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan. Karbosil merupakan material yang sangat stabil dan tahan terhadap suhu tinggi serta bahan kimia. Berdasarkan kestabilannya, karbosil sudah digunakan sebagai bahan furnace (tungku) suhu tinggi (Chen, dkk, 2004). Karbosil juga merupakan material yang memiliki struktur amorph dengan porositas yang tinggi dan luas permukaan yang besar. Dengan karakteristik yang dimiliki, karbosil

dapat dimanfaatkan sebagai penunjang adsorben, seperti untuk penanganan polutan organik dalam pengolahan air, logam berat dalam limbah cair dan untuk pencegahan material yang bersifat abrasive dan asam, serta sebagai bahan konduktor.

Metode dalam pembuatan karbosil yang umum digunakan hingga dewasa ini adalah pirolisis dengan menggunakan silika dan senyawa organik lain seperti metilenklorida sebagai sumber karbon, di mana senyawa dipirolisis pada suhu 500°C untuk melepaskan karbon dan karbon yang dihasilkan selanjutnya dideposisikan pada cairan silika (Gun'ko, dkk, 2005). Dengan metode yang sama telah dilakukan oleh Skubiszewska dkk, 2002, menggunakan diklorometan sebagai sumber karbon. Senyawa ini dipirolisis pada 900°C untuk melepaskan karbon dan dideposisikan pada cairan silika.

Berkaitan dengan bahan baku dan metode pembuatan karbosil, sekam padi merupakan salah satu material yang sangat menarik untuk diolah menjadi karbosil. Potensi ini didasarkan bahwa sekam padi terdiri dari karbon sekitar 40% dan silika 16% setelah mengalami proses pirolisis (Daifullah, dkk., 2004).

-oo0oo-



DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F., Kandasamy, Balakrishnan, S. (2006). Iron Incorporated Catalyst from Rice Husk Ash. *J. Colloid and Interface Science*, Vol.304, pp.137-143.
- Adam, F. and Hans, J.H. (2004). The Adsorption of Palmytic Acid on Rice Husk Ash Chemically modified with Al(III) ion using the sol-gel technique. *J. Colloid and Interface Science*, Vol. 280, pp.55-61.
- Amutha, K. (2010). Extraction, Synthesis and Characterization of Nanosilica from Rice Husk, *International Journal of Nanotechnology and Application*, Vol. 4, pp.61-66.
- Aksay, I.A., and Pask, J.A. (1975). Stable and Metastable Phase Equilibria in System $Al_2O_3-SiO_2$. *J. American Ceramics Society* Vol. 58, pp.507-512.
- Al-jarsha, Y.M.M., Emblem, H.G., Jones, K., Mohd, M.A., Rahman, A.B.d., Davies, T.J., Wakefield, R. and Sargeant, G.K. (1990). Characterisation and uses of mullite gain. *J. Material Science*, Vol. 25, pp.2873-2880.
- Amista, P., Cesari, M., Montenero, A., Gnappi, G., Lan, L. (1995). Crystallisation behaviour in the system $MgO-Al_2O_3-SiO_2$. *J. Non-Crystalline Solid*, Vol. 192, pp.529-533.
- Anonim D. (2009). Borax Decahidrate. [http://www. boraks.com/borax-decahidrate.pdf](http://www.boraks.com/borax-decahidrate.pdf). Diakses: 21 Mei 2009.
- Angel, Ross. J., Prewitt, and Charles. T. (1986). *Crystal Structure of Mullite: A Re-Examination of the Average Structure*. American Mineralogist. Department of Earth and Space Science, State University of New York at Stony Brook, New York 11794, USA. Vol. 71, pp.1476-1482.
- Anonim A. 2005. Mullite. <http://www.persentasi mullite.com. html>. Diakses 10 Juli 2010.

- Azooz, M.A., Aiad, T.H.M.A., Elbatal, F.H., and Eltabii, G., (2008). Characterisation of bioactivity in transition metal doped borosilicate glasses by infrared reflection and dielectric studies. *Indian J. Pure & Applied. Physics*, Vol.46, pp.880-888.
- Babel, S. dan Kurniawan, T.A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. *Hazardous Material Journal*. Vol. 97, Pp.1-3.
- Basha E. A., Hashim R., Mahmud H. B., Muntohar A. S. (2005). Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and Building Materials*.
- Badan Pusat Statistik (BPS), Lampung, (2012).
- Bridge, D.R., Holland, D., Mc Millan, P.W. (1985). Development of alpha-cordierite phase in glass ceramics for use in electronic device. *J. Glass Technology*, Vol. 26, pp.286-292.
- Brindly, G.W., dan Brown, G. (1980). *Crystal Structures of Clay Minerals*, Edisi Keenam, Terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
- Brunauer, G. Frey, F., Boysen, H. and Schneider, H. (2001). High temperature thermal expansion of mullite: An insitu neutron diffraction study up to 1600 °C. *Journal of European Ceramic Society*. Vol. 21, pp. 2563-2567.
- Bose, S., Acharya, H.N., Banerjee, H.D. (1993). Electrical, thermal thermoelectric and related of magnesium silicate semiconductor prepared from rice husk. *J. Material Science*, Vol. 28, pp.5461-5468.
- Charles, A.H, (2001). *Handbook of Ceramic glasses and Diamonds*, McGraw Hills Company Inc, USA.
- Chandran, R.G., and Patil, K.C. (1990). A Rapid combustion process for the preparation of crystalline mullite powders. *Material Letter*, Vol.10, pp.291-295.
- Chandrasekhar, S., Pramada, P.N., Praveen, L.(2005). Effect of organic acid treatment on the properties of rice husk silica. *Journal of Materials Science*. Vol 40, (24), pp.6535-6544.
- Chen, L., Neoh, K.G., Ying, L and Arunacchalam, V.S., (2004). Pyrolysis of rice husk. *Current Science*, Vol 87 (7), pp.981-986
- Colomban, P. and Mazerolles, L. (1990). SiO₂-Al₂O₃ phase diagram and mullite non-stoichiometry of sol-gel prepared monolithic: influence on mechanical properties. *J. Material Science Letter*, Vol.9, pp.1077-1079.
- Chaudhuri, S. P., Patra, S. K. and Chakraborty, A. K. (1999). Electrical resistivity of transition metal ion doped mullite. *Journal of European Ceramic Society*, Vol.19, pp.2941-2950.
- Chiang, Y.M., Birnie, Dubas. and Kingery, W.D. 1977. *Physical Ceramics Principle for Ceramic Science and Engineering*. John and Son. Inc. Canada.

- Cheng, J.M. and Chang, F.W. (1991). The chlorination kinetics of rice husk. *Indian Engineering Chemical Research*, Vol. 30, pp.2241-2247.
- Cullity, B. D. (1978). *Element of X-Ray Diffraction*. Departement of Metallurgical Engeenering and Materials Science. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA. pp. 277-281.
- Cullity, B. D. (1992). *Element of X-Ray Diffraction*. Departement of Metallurgical Engeenering and Materials Science. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA.
- Corderail, J., and Greil, P., (2000). *J. Eur. Ceram. Soc.*, Vol. 20, (9), pp.1947-1957.
- Daifullah, A.A.M., Girgis, B.S., and Gad, H.M.H. (2003). Utilization of agro residues (rice husk) in small waste water treatment plans. *J. Materials Letters*, Vol.57, pp.1723-1731.
- Daifullah, A.A.M., Awwad, N.S., and El-Reefy (2004). Purification of phosphoric acid from ferric ion using modified rice husk. *J. Chemical Engineering and Processing*, Vol. 43, pp.193-201.
- Dasli, N, (1985). Elusidasi Struktur Senyawa Organik Dengan Cara Spektoskopi Ultralembayung Dan Inframerah, Angkasa, Bandung, Hal 110.
- Della, V.P., Kuhn, I., Hotza, D. (2002). Rice husk ash an alternate source for active silica production. *J. Materials Letters*, Vol.57, pp. 818-821.
- Douy, A. (1992). Organics gels in the preparation of silicate powders example of mullite and cordierite. *In Chemical Processing of Advanced Materials*, New York, pp. 585-594.
- Dordevic and Jovanic, (2008). Influence of mechanical activities on electrical properties of cordierite ceramics, *Science of Sintering*, 40, 47-53
- Du, L.S, Allwardt, J.R, Schmidt, B.C, and Stebbins, J.F, 2004. Pressure-induced strukturechanges in a borrosilicate glass-forming liquid, *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 337, pp.196-200.
- Ebswoth, E.A.V., Rankin, D.W.H., Cradock, S., (1991). *Sructural method in organic chemistry*, Second Ed. Blackwell Scientific Publication Oxford United Kingdem, pp.222.
- Eckert, H. (1992). *Structural characterization of noncrystalline solids and glasses using solid state NMR, Program. NMR Spectroscopy*, Vol.24, 159.
- El-khesen, A.A., Zawrah, M.F., and Awaad, M., (2009). Densification phase composition and properties of borosilicate glass composites containing nano-alumina and titania. *J. Material. Science*, Vol. 20, pp.637-643.
- El-khesen, A.A., and Zawrah, M.F., (2003). Sinterability microstructure and properties of glass/ceramic composites. *J. Ceramics International*, Vol. 29, pp.112-118.
- El-Kareh, B. (1995). *Fundamentals of Semiconductor Processing Technologies*. Norwell: Kluwer Academic Publishers.

- Faizul, C.P., Abdullah, C and Fazlul, B., (2013). Review of extraction of silica from agricultural wastes using acid leaching treatment, *Advanced Materials Research* Vol. 626, pp 997-1000.
- Fischer, R.X., Schneider, H. and Voll, D. (1996). Formation of aluminum rich 9:1 mullite and its transformation to low alumina mullite upon heating. *Journal of European Ceramic Society*. Vol. 16, pp.109-113.
- Fonseca, A.M.L, Ferreira, J.M.f, Salvado, I.M.M and Baptista, J.L, (1997). Mullite based compositions prepared by sol-gel techniques. *J. Sol-Gel Science and Technology*, Vol. 8, pp.1633-1640.
- Ganguli, D. and Chatterjee, M. (1997). *Ceramic Powder Preparation*. Handbook, Boston, 150-152.
- Genieva, S.D, Turmanova, S.Ch, Dimitrova, A.S, Vlaev, L.T. (2008). Characterization of rice husk and the products of its thermal degradation in air or nitrogen atmosphere. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 2, pp.387-396.
- Ginting, O.M, Riyanto, A; Sembiring, S (2009). "Karakteristik fungsionalitas borosilikat berbasis sekam padi akibat pengaruh kalsinasi. Prosiding Seminar Nasional Sains MIPA Dan Aplikasinya, Universitas Lampung.
- Ginting, O.M. (2010). Karakteristik Thermal dan Fungsionalitas Keramik Borosilikat Berbasis Silika Sekam Padi. Skripsi. Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Lampung.
- Goncalves M.R.F., and Bregmann, C.P. (2000). Thermal Insulator Made with Cordierite: Production and correlation between properties and microstructure. *J. Construction and Building Material* Vol. 10, pp.925-930.
- Grisdanurak, N., Chiarakorn, S., Wittayakun, J. (2003). Utilization of mesoporous molecular sieve synthesized from natural source rice husk silica to chlorinated volatile organic compounds (CVODCs) adsorption. *Korean J. Chemical Engineering*, Vol. 20, pp.950-955
- Grover, P D. (1992). *Captive Power for Rice Husk With Recovery of Amorphouse Silica* By Steam Gasification of Rice Husk, Departement of Non-Conventional Energi Sources, Ministry of Energy, New Dehli.
- Gun'ko, V.M., Seledets, O., Skubiszewska-Zi ba, J., Zarko, V.I., Leboda, R., Janusz, W., and Chibowski, S. (2005). Phosphorus-containing carbon deposits on silica gel Si-100. *Science Direct*, 06-044.
- Hsu, W.H., dan Luh, B. S. (1987). *Rice Production and Utilization*. AVIPub. Co. Inc., Conecticut, 22.
- Hamdan, H., Muhid, M.N., Endud, S., Listioine, E., Ramli, Z., (1997).²⁹ Si MAS, NMR, XRD and FESEM Studies of rice husk silica for synthesis zeolite. *J. Non Crystal Solids*. Vol. 211, pp.126-131.

- Hara, N. (1988). Utilization of rice hush ask for calcium silicate lightweight building materials. *J. Mineral. SocietyJapan*. Vol. 18, pp.405-415.
- Hulling, J.C and Messing, G.L, (1989). Hybrids gels for homoepitactic nucleation of mullite.*J.American Ceramics Society*. Vol. 72, (9), pp.1725-1729.
- Hulling, J.C and Messing, G.L, (1991). Epitactic nucleation of spinel in aluminium silicate gels and effect on mullite crystallization. *J. American Ceramics Society*, Vol. 74, (10), pp.2734-2381.
- ICDD, Material Data Inc (1997), Livermore, CA.
- Iwadate, Y., Hattori, T., Igarashi, K., Dan Mochinaga, J., (1989). X-ray structural analysis of amulticomponent borosilicate. *Journal of Material Science*, Vol. 8, pp.1070-1081.
- Ikram, N. and Akhter, M. (1988). X-ray diffraction analysis of silicon prepared from rice husk ash. *J. Materials Science*. Vol. 23, pp.2379-2381.
- Indian Institute of Science, (2008). Precipitated Silica from Rice Husk Ash IPSIT, precipitated Silica, Technology.
- Jain A., (1995). Energy and chemicals form rice husk. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 7. (1-6), pp.285-289.
- Johnson, B.R., Kriven W.M., and Schneider, (2001). Crystal structure development during devitrification of quenched mullite. *J. European Ceramics Society* Vol. 21, pp.2541-2526
- Joy, D.C, (1989). *Low voltage scanning electron microcopy*”, Hitachi Instrument News.
- Kalopathy, C., Proctor, A. and Shultz, J. (2000). A simple method for production of pure silica from rice husk ash. *J. Biosource Technology*. Vol. 73, pp.257-264.
- Katsuki, H., Furuta, S., Watari, T., Komarneni, S., (2005). ZSM-5/Zeolite porous carbon composite: conventional and microwave hydrothermal synthesis from carbonized rice husk. *J. Microporous and Mesoporous Materials*. Vol. 86, pp.145-151.
- Karmakar, B., Kundu, P., Jana, S., Dwiredi, R.N. (2002). Crystallisation kinetics and mechanism of low expansion magnesium-alumina-silicate glass ceramics by dilatometry. *J. American Ceramics Society*. Vol. 85 (10), pp.2572-2574.
- Kim, H. S. dkk. (2004). Thermogravimetric analysis of rice husk flour filled thermoplastic polymer composite. *Journal of Thermal Analysis and Calometry*, Vol. 76, pp.395-404.
- Krishnarao, R.V., Mahajan, Y.R. dan Kumar, T.J. (1998). Conversion of raw rice husks to SiC by pyrolysis in nitrogen. *Journal of European Ceramics Society*, Vol 18. pp.147-52.
- Kingery, W. D. (1976). *Introduction to Ceramics*. John Willey & Sons. Singapore. 61.
- Knickerbocker, S.H., Kumar, A.H., Herron, L.W., (1993). Cordierite glass ceramics for multilayer ceramic packing. *J.American Ceramics Society Bulletin*. Vol. 72, pp.90-95.

- Klug, F.J., Prochazka, S. and Doremus, R.H. (1987). Alumina-silica phase diagram in the mullite region. *Journal of American Ceramic Society*. Vol. 70 (10), pp.750-759.
- Kollenberg, W. and Schneider, H. (1989). Microhardness of mullite at temperature to 1000 °C. *J. American Ceramics Society*. Vol. 72, pp.1739-1740.
- Kriven, W. M., Siah, I. F., Schmücker, M. and Schneider, H. 2004. High temperature microhardness of single crystal mullite. *Journal of American Ceramic Society*. Vol. 87, pp.970-972.
- Kubota, H and Hala, Y, 1991, Effect of hydroquinone on location of methacrylic acid grafted chains introduced into polyethylene film by photografting, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 42, pp.2029-2033.
- Kurama, S. and Kurama, H. (2006). The reaction kinetics of rice husk based cordierite ceramic, *J.Ceramics International*, 1- 4.
- Kumer, D., Schumacher, K., and Unger, K. (2001). MCM-41, MCM-48 and related mesoporous adsorbents the synthesis and characterization. *J. Colloids and Surfaces A, Physicochem, Eng Aspect*. Vol.187, pp.109-116.
- Kobayashi, Y., Sumi, K., Kato, E. (2000). Preparation of dense cordierite ceramic from magnesium compounds and kaolinite without additive. *J.Ceramics International* 26, pp.739-743.
- Kurama, S. (2002). Effect of grinding time and MgO source on cordierite formation. *J.American Ceramics Society Bulletin*, 81
- Kurama, S. and Ozel, N. (2004). Synthesis and sintering of cordierite at low temperature from kaolinite and magnesium hydroxide. *Key Engineering Materials*, 925- 928.
- Lambert, J.B., Shurvell, H.F., Lighter, D.A., Cook, R.G., (1998). *Organic Structural Spectroscopy*, Prentice-Hall, NJ, USA, pp.191.
- Leboda, R. (1985). The thermal properties of carbon-silica adsorbents (carbosils) prepared by methylene chloride pyrolysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 35, (7), pp.2213-2224.
- Lutfi, M. (2007). Modifikasi Permukaan Elektroda Pasta Karbon Silika Menggunakan Lapis Tipis Raksa Untuk Analisis Pb^{2+} Dengan Teknik Voltametri Lucutan Pulsa Diferensial. Skripsi. ITB. Bandung.
- Lin, M.H. and Wang, M.C. (1995). Crystallization behaviour of β -spodumene in the calcination of magnesium-alumina-silicate gels. *J. Material Science*. Vol. 30,(10), pp.2716-2721.
- Lee, W.E. and Rainforth, W.M. (1994). Structure Oxides I: Al_2O_3 and Mullite in Ceramic Micro Structures: Property Control by Processing. Chapman and Hall. London. pp.290-316.

- Lessing, P.A., Gordon, R.S., and Mazdidasni, K.S. (1975). Creep of polycrystalline mullite. *J. American Ceramics Society*. Vol. 58, pp.149-150.
- Liu, F., Guo, X.F., and Yang, G.C., (2001). Crystallisation of gels in the $\text{SiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ system. *J. Material Science*. Vol. 36, pp.579-585.
- Linah, Handoko, E, Soegijono, Widyaningrum, Renty, F, dan Risnawaty (2008), E, Efek Temperatur Terhadap Pembentukan Fasa Boron Oksida (B_2O_3) Pada Asam Borat (H_3BO_3). Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Universitas Lampung, 427-430.
- Long, L., Jian-bao, L., Hong, L.N., Gang-feng, G., and Ming-sheng H. (2006). Novel synthesis of sol-gel derived nanosized mullite powder. *Chinese J. Aeronautics*. Vol. 19, (12), pp.871-873.
- Mansour R; Lafjah M; Djafri F and Bengueddach A (2007). Synthesis of borosilicate zeotypes by steam assisted conversion method. *Journal of the Korean Chemical Society*. Vol. 51, pp.178-185.
- McMillan, (1997). *Glass-Ceramics*, Academic Press, London 2nd.
- Mazdidasni and Brown, (1972). Synthesis and mechanical properties of stoichimetric aluminium silicate (mullite). *J. American Ceramic Society*, Vol. 55, pp.548-552.
- Mineral Data Publishing version 1.2, (2001).
- Miura, Y., Yuasa, M., Osaka, A and Takahashi, K, (1988). Amorphous oxides prepared from organometallic compounds Part 1. Preparation of sodium borosilicate gels, *Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University*. Vol. 23, (I).
- Montanaro. (1997). Sintering of Industrial Mullite. *Journal of European Ceramic Society*. Vol. 17, pp.1715-1723.
- Monterio, R.C., and Lima, M.M., (2003). Synthesis of borosilicate zeotypes by steam-assisted conversion method. *J. European. Ceramics Society*, Vol. 23, pp.1813-1818.
- Mussler, B.H. and Shafter, M.W. (1984). Preparation and Properties of Mullite-Cordierite Composites. *Ceramic Bulletin* Vol. 63, 705-710.
- Naskar, M.K. and Chatterjee, M. (2004). A novel process for the synthesis of cordierite ($\text{Mg}_2\text{M}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$) powder from rice husk ash and other sources of silica and their comparative study. *J. The European Ceramic Society*. Vol. 24, pp.3499-3507.
- Naskar, M.K. and Chatterjee (2005). A novel process for the synthesis of lithium aluminium silicate powders from rice husk ash and other water based precursor materials. *Materials Letters*. Vol. 59, pp.998-1003.
- Natarajan, E., Nordin, A. and Roa, A.N. (1998). Overview of Combustion and Gasification of Rice Husk in Fluidized Bed Reactors. *Biomass, Bioenergy*. Vol.14, 533.

- Nevivilanti, S., Wiranti, F.V., dan Sembiring,S. (2010). Karakteristik keramik mullitedari silika sekam padi akibat perlakuan kalsinasi. *Prosiding Seminar Nasional Sains Mipa Dan Aplikasinya*, FMIPA UNILA. Vol. 2, pp.36-40.
- Ndazi, B.S, Karlsoon, S, Tesha, J.V, Nyahumwa, C.W (2006), Chemical and physical modification of rice husk for use as composites panels”, *Composite Part A:Applied Science and Manufacturing*, pp.1-11
- Oliveira F.A.C. and Fernandes (2002). Mechanical and thermal behavior of cordierite zirconia composites. *J. Ceramics International*. Vol. 28, pp.79-91.
- Parikh, (1974). *Absorption Spectroscopy of Molecules*, Addison-Wesley, California, Apendice 247
- Pantea, D., Darmstadt, H., Kaliaguine, S., Summchen, L., and Roy, C., (2001). Electricalconductivity of thermal black. Influence of surface chemistry. *Carbon*, Vol. 39, pp.1147-1158.
- Pebrianti, T. (2008). Elektroda Lapis Tipis Bismut pada Pasta KarbonTermodifikasi Silika untuk Analisis Ion Pb^{2+} dan Cd^{2+} Secara Voltametri. Skripsi. ITB. Bandung.
- Puzy, A. M., Charnas, B., Poddubnaya, O. I., Mel'Gunov, M. S., Leboda, R., and Trznadel, B.J. (2003). Surface heterogeneity of carbon-silica adsorbents studied on the basis of the complex adsorption investigations, *Colloid and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. Vol. 213, pp.45-57.
- Petrovic, R; Janacovic D; Bozovic, B; Zec, S and Gvozdenovic, L.K, (2001). Densification and crystallisation behavior of colloidal cordierite-type gels.*Journal Serbian Chemical Society*. Vol. 66, 335-345.
- Orefice, B.L. and Vasconcelos, W. (1997). Sol-gel Transition and Structural Evolution on Multicomponent Gels Derived from The Alumina-Silica System. *J. Sol Gel Science and Technology*. Vol. 9, (9), pp.239-249.
- Paja, J., Monzo, J., Borrachero, M.V., Mellado, A., Ordonez, I.M. (2001). Determination of amorphous silica in rice husk ash by a rapid analytical method. *J.Cement and Concrete Research*. Vol. 31, pp.227-231.
- Prahayawarakon dan Yaembunying, (2004). Effect of recycling on properties of rice husk polypropylene, *Journal of Science Technology*, Vol. 27, 187.
- Prasetyoko, D., Ramli, Z., Hamdan, H & Suliskowski, B. (2005). Conversion of ricehusk ash to zeolit beta. *Waste Management*. Vol. 26. pp.1173-1179.
- Pluth, JJ, Smith J.V and Faber, J, (1997). Crystal structure of low crystoballite.J. *Applied Crystallography*. Vol. 2. pp.369-377.

- Pulung Karo-karo dan Simon Sembiring, (2009). Sintesis dan karakterisasi fasa Crystoballite Berbasis Silika Sekam Padi Dengan Metode Sintering (Solid State). *J.Industrial Engineering & Management Systems/JIEM*, Universitas Bunda Mulia, Jakarta.
- Paulmann, C. (1996). Study of oxygen vacancy ordering in mullite at high temperature. *Phase Transition*. Vol. 59, pp.77-90.
- Pitchford, J. E., Stcarn, R. J., Kelly, A. and Clegg, W. J. (2001). Effect of Oxygen Vacancies on The Hot Hardness of Mullite. *Journal of American Ceramic Society*. Vol. 84, pp. 1167-1168.
- Quakertown. (2007). *High Precision Machining of Hard Materials*. CordieriteInformation-Profided by Insaco, PA 18951-9006 USA.
- Rahman, I.A. (1994). Preparation of Si₃N₄ by corbothermal reduction of digested rice husk. *J. Ceramic International*. Vol. 20, pp.195-199.
- Ramli, Z. and Bahruji, H. (2003). Synthesis of ZMS 5 type zeolite using crystalline silica ofrice husk ash. *Malaysian Journal of Chemistry*5, pp.48-55.
- Real, C., Alcalá, M.D., Criado, J.M. (1996). Preparation of silica from rice husk. *J. AmericanCeramics Society*. Vol. 79, pp.2012-2016.
- Real, C., Alcalá, M.D., dan Criado, J.M. (2004). Synthesis of silicon nitride from carbothermalreduction of rice husks by the constant-rate-thermal-analysis (CRTA) method. *Journal of American Ceramics Society*. Vol. 87. pp.75-78.
- Riveros, H. and Garza, C. (1986). Rice husk ash a source of high purity silica. *J. CrystallizationGrowth*. Vol. 75, pp.126-131.
- Rietveld, H.M, (1969). A Profile Refinement Method for Nuclear and Magnetic Structure, *J.Applied Crystallographic*. Vol. 2, pp.65-71
- Ryianto, A., Ginting, O.M., Sembiring, S., (2009). Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Pembentukan Gugus Borosilan (B-O-Si) bahan keramik borosilikat berbasis silika sekam padi. *Prosiding Seminar Nasional Sains MIPA dan Aplikasinya*. Universitas Lampung 1, pp.219-224.
- Romero, J.N., Reinoso, F.R. (1996). Synthesis SiC from rice husk catalyzed by iron, cobalt or nikel. *J. Materials Science*. Vol. 31, pp.779-784.
- Roy, (1987). Spectroscopy analysis of the structure of silicate glasses along the joint xMAIO₂(1-x)SiO₂.*Journal amaerican ceramics Society*. Vol. 70 (3), 183
- Rudolph, T., Pannhorst, W., Petzow, G. (1993). Determination of Activation Energies for The Crystallization of Cordierite Type Glass. *J. Non-Crystalline Solid*. Vol. 155, pp.273-281.
- Risbud, S.H. and Pask, J.A. (1978). Mullite Crystallisation from SiO₂-Al₂O₃ melts. *J. American Ceramics Society*. Vol. 61, 63-67.

- Risbud, S.H., and Shackelford, J. F. (2008). *Mullite; Ceramic and Glass Materials: Structure, Properties And Processing. England*
- Rommerskirchen, I., Chaveza, F. and Janke, D. (1994). Ionic conduction behavior of mullite at 1400 to 1600 °C. *J. Solid State Ionics*. Vol. 74, pp.179-187.
- Saman, MM., Hani., Naina, M and Mat, A., 2007. SEM and XRD studies on carbon anode material, *Solid statet Science and Technology*, Vol.15, pp.49-55
- Seledets, O., Gun'ko, V.M., Skubiszewska-Zi ba, J., Zarko, V.I., Leboda, R., Janusz, W., and Chibowski, S. (2005). Phosphorus-Containing Carbon Deposits on Silica Gel Si-100. Elsevier Inc. Vol.87. pp.133-145.
- Sheffield, (2001). *Borate Glasses and Crystal and Melt: Structure and Application*. YB Dimitriev and AC Wright (EDS), Society of Glass Technology.
- Schneider, H., Okada, K., and Pask, J.A. (1994). *Mullite and Mullite Ceramics*. Wiley New-York, NY.
- Schneider, H. and Komarneni, S (Eds.). (2005). *Mullite*. ISBN: 3-527-30974-8. WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA. Weinheim.
- Schneider, H., Okada, K. and Pask, J.A. (1994). *Mullite and Mullite Ceramics*. Wiley, Chichester. pp.1-251.
- Schmueecker, M and Schneider, H, (1999). Structural Development of single Phase (type I) Mullite Gels, *J.Sol-Gel Sci.Tech*. Vol. 15, pp.191-199.
- Smallman, R.E dan Bishop, R.J. (2000). *Metalurgi Fisika Modern dan rekayasa Material*, terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
- Smith, W. F. (1990). *Prinsiples of Materials and Science Engeenering*. Third Edition. McGraw-Hill. Inc. USA.
- Saiintawong, K., Wada, S. and Jaroenworuluck (1995). Proceedings of the first workshop on the utilization of rice husk and rice husk silica. Faculty of Science Chulalongkorn University.
- Shinohara, Y and Kohyama, N (2004). Quantitative analysis of tridymite and cristobalite crystalized in rice husk ash by heating. *National Institute of Health*.
- Sembiring, S. (2007). Karakterisasi Silika Sekam Padi Sebagai Bahan Keramik dengan Teknik Sintering. *Prosiding, Dies Natalis Universitas Lampung*, pp.123-128.
- Sembiring, S. dan Karo-Karo, P. (2007). Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Termal dan Mikrostruktur Silika Sekam Padi *J. Sains dan Teknologi*, Mipa Unila. Vol. 13. (3), pp.233-239,
- Sembiring, S. dan Manurung, P. (2009). Synthesis and Characterisation of Cordierite ($Mg_2Al_4Si_5O_{18}$) Ceramics Based on The Rice Husk. *Prosiding Seminar Nasional Sains MIPA dan Aplikasinya*, Universitas Lampung, Vol.1, pp.417-423

- Sembiring, S. (2008). Karakteristik Keramik *Cordierite* Berbasis Silika Sekam Padi pada Temperatur Rendah (*Low Temperature*), *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II*, Universitas Lampung.
- Sembiring, S. dan Karo-Karo, P. (2009). Pembuatan dan Karakterisasi Gelas *Cordierite* dari Silika Hasil Ekstraksi Sekam Padi. *J. Industrial Engineering & Management Systems/JIEM*, Universitas Bunda Mulia, Jakarta. Vol. 2, (1p). 57-62
- Sembiring, S. (2010). Potensi Keramik *Cordierite* Suhu Tinggi Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Bahan Isolator Listrik. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi III* Universitas Lampung. Vol. 3, pp.397-403.
- Sembiring, S. (2010a). Studi Pendahuluan Keramik Borosilikat (B_2SiO_5) Berbasis Silika Sekam Padi dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). *Prosiding Seminar Nasional Semirata*, Universitas Riau (Unri) P.Baru).
- Sembiring, S. (2010b). Karakteristik Struktur Keramik Borosilikat Berbasis Silika Sekam Padi Akibat Perlakuan Sintering. *Prosiding Seminar Nasional Sains Mipa*, Universitas Lampung. Vol. 2, pp.54-59.
- Sembiring, S. (2011). Synthesis and Characterisation of Rice Husk Silica Based Borosilicate (B_2Si_5) Ceramic by Sol-Gel Routes. *Indonesian Journal of Chemistry*, Vol. 11, pp.85-89
- Sembiring S and Wasinton Simanjuntak, W., (2012), X-ray Diffraction Phase Analyses of Mullite Derived from Rice Husk Silica. *Jurnal Makara Seri Sains*, Universitas Indonesia, Jakarta. Vol. 16, 2, pp.77-82.
- Sembiring, S., Simanjuntak, W., Manurung, P., Asmi, D., and Low, J. (2014) Synthesis and characterisation of gel-derived mullite precursors from rice husk silica. *J. Ceramics International*, Elsevier, Vol. 40, pp.7067-7072.
- Sung, Y.M. (2000). Kinetic Analysis of Mullite Formation Reaction at High Temperature. *Acta Material*. Vol. 48, pp. 2157-2162.
- Silverstein M, Robert, Bassler C. G, Morrill C, and Terence, 1986. *Penyidikan Spektrometri Senyawa Organik* Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Singh, S. K., Mohanty, B. C. and Basu, S. (2002). Synthesis of SiC from rice husk in a plasma reactor. *Bulletin Material Science*. Vol. 25,(6), pp.561-563.
- Siriluk and Yuttapong (2005). Structure of mesoporous MCM-41 prepared from rice husk ash. *Asian Symposium on Visualization*, Chaingmai, Thailand.
- Skubiszewska, J.Z., Charnas, B, Lebeda, R, Kowalczyk, P, Oleszczuk, P. (2002). Effect of hydrothermal modification on the porous structure and thermal properties of carbon-silica adsorbents (Carbosils). *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 78. pp.486-494.

- Subramanian, M.A., Corbin, D.R., Chowahry, (1993). Better ceramic substrates through zeolite. *Bulletin. Material Science*. Vol.16, (6), pp.665-678.
- Simanjuntak W., dan Sembiring, S. (2011), The use of the Rietveld method to study the phase composition of cordierite ($Mg_2Al_4Si_5O_{18}$) ceramics prepared from rice husk silica. *J. Makara Seri Sains*, Universitas Indonesia, Jakarta. Vol.15, No 1, pp.97-100.
- Simanjuntak, W, Sembiring, S and Sebayang, K (2012), Effect of pyrolysis temperature on composition and electrical conductivity of carbosil prepared from rice husk, *Indonesian Journal of Chemistry*, Universitas Gajah Mada, Jogjakarta. Vol. 12, No 1, pp.119-125.
- Sze, S. M. (1985). *Semiconductor Devices, Physics and Technology*. AT and Bell Laboratories Murray Hill. New Jersey, Eds 1. Page 1-3.
- Somiya and Hirata, Y. (1991). Mullite powder technology and application in Japan. *Ceramic Bulletin*. Vol. 70, pp.1624-1632.
- Soraru, G.D., Babonneu, F., Gervais, C., dan Dallabona, N., (2000). Hybrid $RSiO_{1.5}/B_2O_3$ gels modified silicon alkoxides and borix acid. *Journal of Sol-Gel and Technology*. Vol. 18, pp.11-19.
- Stoch, P, (2008). Coating Borosilicate Waste Glasses. *Optical Applicata*. Vol. 38, (1).
- Strnad, Z. (1986), *Glass-Ceramics Materials*. Elsevier Science Publishing Company, Inc.
- Surdia, T dan Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Cetakan keempat PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Torreillas, R., Calderon, J.M., Moya, J.S., Reece, M.J., Davis, C.K.L., Olagnond, C and Fantozzi, G. (1999). Suitability of mullite for high temperature application. *J. European Ceramics Japan*. Vol. 19, pp.2519-2527.
- Vlack, V. (1992). *Ilmu dan teknologi Bahan (Ilmu Logam dan non Logam)*, Edisi kelima. Alih Bahasa Sriati Djaprie. Fak. Teknik Metalurgi. Universitas Indonesia. Cetakan ke-tiga, Erlangga. Jakarta.
- Viswabaskaran, V., Gnanam, F.D. and Balasubramanian, M. (2003). *Mullitisation Behaviour of Calcined Clay-Alumina Mixtures*. *Ceramic International*. Vol. 29 (71), pp.561.
- Wolf, PF, McMillan, Stebbin, J.F, Mcmillan, P.F dan Dingwell, (1995). Structure Dynamics and Properties of Silicate Melts. *Journal Mineralogical Society of America*, p505
- Wati, A. M; Sembiring, S dan Triyanti, S, (2010). Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Pembentukan Gugus Fungsi Keramik Mullite Berbasis Silika Sekam Padi. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi III, Universitas Lampung*.
- Yalcin, N. and Sevinc, V. (2001). Study on Silica Obtained from Rice Husk. *J. Ceramics International*, Vol. 29, pp.219-224.

- Yamuna, Ajhanson, R., Mayajan, Y.R., and Lalithambika, M. (2004). Kaolin-Based Cordierite for Pollution Control. *J. European Ceramics Society*. Vol. 24, pp.65-73.
- Yoon, O.S, Kim, K.S, Kim, S, Shim, S.H, and Park, J.G, (2007). Densification and Dielectric Properties of Glass/Ceramic/Composites with Various Borosilicate Glass, *Journal Materials Science Forum*, 544-545, pp960-964.
- Zawrah, M.F., and Hamzawy, E.M.A., (2002). Effect of Crystoballite Formation on Sinterability. *J. Ceramics International*. Vol. 28, pp.123-130.
- Zawrah, M.F. dan Shaw, L. (2003). Liquid-Phase Sintering of SiC in Presence of CaO. *Ceramics International*. Vol. 30, pp.721-725.
- Zulkali, M.M.D., Ahmad, A.L. dan Norulalmal, N.H. 2006. Effect of Control Parameters on Emitted Volatile Compounds in Municipal Solid Waste and Pine Trimmings Composting. *Biores Technology*. Vol. 97. Pp.21.
- Zubandiansar, Y. (2005). Encapsulasi enzim horseradish peroxidase-glucose oxidase (HRP-GOx) Dalam Akuagel Silika Hasil Sintesis Dari Abu Sekam Padi. (Tesis). *Universitas Gajah Mada*. Yogyakarta. Hal 1-20.
- Zhu, S., Ding, S., Xi, H., and Wang, R. (2007). Preparation and characterisation of SiC/cordierite composite porous ceramics. *J. Ceramics International* Vol. 33, pp.115-111.



GLOSARIUM

Amorph	: bentuk struktur dengan susunan atom yang tidak teratur
Alkalis	: tingkat keasaman dan basa
Alumina	: nama mineral keramik yang bersifat isolator
Backscattered	: detektor yang digunakan pada SEM untuk menganalisa Electron morphology/komposisi kimia permukaan dan memiliki energi tinggi
Bulk silica	: silika dalam bentuk padat hasil pembakaran sekam padi
Borosilikat	: nama mineral keramik sebagai bahan gelas
Cordierite	: nama mineral keramik yang bersifat isolator
DTA	: singkatan dari diferensial analisis termal yang digunakan untuk melihat proses perubahan struktur akibat perlakuan termal
Dekomposisi	: proses penguraian dari suatu struktur membentuk struktur lain
DSC	: singkatan dari Differential Scanning Calorimetry untuk melihat proses perubahan struktur berdasarkan energi yang dilepaskan dan diterima
EDS	: singkatan dari energi dispersif spektroskopi yang digunakan untuk analisis komposisi kimia pembentuk dari suatu material
Ekstraksi	: suatu proses pemisahan dengan metode kimia
Endoterm	: proses menerima panas dari luar dalam bentuk energi
Exoterm	: proses pelepasan panas dalam bentuk energi
FTIR	: singkatan dari fourier transformasi sinar infra red yang digunakan untuk melihat gugus-fungsi dari suatu molekul pembentuk material
Gugus Fungsi	: nama ikatan molekul dari suatu material
Grain Boundry	: batas butir antara partikel partikel/atom-atom dari mikrostruktur yang dapat dilihat dengan SEM
Hidrolisis	: proses penguraian melalui reaksi kimia
Isolator	: bahan yang tidak dapat menghantar panas atau listrik

JCPDS	: singkatan dari <i>standart data base Joint Commite on Powder Diffraction Standar</i> yang terdiri dari kumpulan material standart berdasarkan pola difraksi
Kondensasi	: proses penguraian melalui proses termal
Kalsinasi	: suatu proses pembakaran pada suhu rendah tanpa mengubah struktur material
Karbosil	: material komposit yang terdiri dari campuran silika dan Karbon
Kisi Kristal	: satuan terkecil dari kristal dengan pamater sel tertentu
Konduktor	: bahan yang dapat menghantar panas atau listrik
Kristal	: bentuk struktur dengan susunan atom yang tersusun secara teratur dan periodik
Kristalinitas	: tingkat pembentukan kristal
Kristalisasi	: suatu proses pembentukan kristal akibat proses sintering dengan parameter sel tetap
Kristobalit	: nama kristal dari sikika hasil proses sintering
Logam Alkoksida	: logam-logam yang berikatan dengan gugus carbonyl dan hidroksil yang digunakan sebagai bahan untuk proses sol gel
Logam Oksida	: logam-logam yang mengalami oksidasi
Metode Padatan	: mensintesis material dengan bahan dalam bentuk padatan
Metode Sol-gel	: mensintesis material dengan metode bahan dalam bentuk Larutan
Mikrostruktur	: profile dari suatu permukaan yang terbentuk dari beberapa elemen yang dapat dianalisis dengan SEM
Mikro	: merupakan ukuran partikel dalam 10^{-6} m
Nano	: ukuran partikel dalam 10^{-9} m
Othorhombic	: nama susunan atom dalam sistem kristal
Pengabuan	: hasil proses pembakaran material padat
Pirolisis	: suatu proses pembakaran pada ruang tertutup tanpa bersentuhan dengan oksigen
Polimorfi	: material yang terdiri dari lebih dari satu struktur dalam kristal
Porositas	: banyaknya pori (lobang) dari suatu permukaan keramik
Refraktori	: bahan yang tahan pada suhu tinggi
Rietveld	: suatu metode analisis struktur kristal berdasarkan difraksi sinar-x dan parameter kristal
Refinement	: hasil penghalusan data eksperimen dengan data standart berdasarkan intensitas difraksi sinar-x dan parameter kristal
SEM	: singkatan dari scanning elektron mikroskopi yang digunakan untuk analisis mikrostrutur dari suatu material
Secondary Electron	: detektor yang digunakan pada SEM untuk menganalisa topografi permukaan dan memiliki energi rendah
Silika gel	: silika dalam bentuk gel yang mempunyai luas permukaan yang besar

silanol	: gugus fungsi silika dengan air dalam bentuk Si(OH)
Siloksan	: gugus fungsi silika dalam bentuk Si-O-Si
Sintering	: suatu proses pembakaran pada suhu tinggi untuk melihat perubahan struktur
Sol-gel	: campuran dalam fasa larutan
Shrinkage	: proses penyusutan dari suatu material akibat perlakuan termal
Spektrum	: hasil interaksi antara sinar dengan sampel dalam bentuk gambar
Spinel	: material keramik yang terjadi akibat reaksi nonstokiometri melalui perlakuan termal
TEOS	: singkatan dari tetraethyl orthosilicate sebagai sumber silika sintetis
TMOS	: singkatan dari tetra methyl orthosilicate sebagai sumber silika sintetis
TGA	: singkatan dari analisis gravimetric untuk melihat perubahan berat suatu sampel
Tridimit	: nama kristal silika hasil proses sintering
Ultra violet	: merupakan sinar yang dipancarkan cahaya
XRD	: singkatan dari difraksi sinar-x yang digunakan sebagai alat menentukan struktur kristal
Quartz	: nama kristal dari silika hasil proses sintering



INDEKS

A

Alkalis, 2, 13, 15, 41
Amorph, 2, 8, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 25,
40, 45, 50, 60, 64, 72, 76
Alumina, 2, 29, 32, 47, 48, 49, 51, 52, 53,
54, 56

B

Bulk silica, 6
Backscattered electron, 81
Borosilikat, 2, 6, 7, 19, 39, 40, 41, 42, 43,
45, 46

C

Cordierite, 4, 28, 30, 32, 33, 34, 36, 37, 38

D

Dekomposisi, 22, 24, 37, 56, 86
DSC, 85, 86, 87
DTA, 16, 23, 24, 30, 34, 43, 52, 54, 56, 71,
85, 86, 87, 88
Difraksi sinar-x, 17, 19, 53, 64, 71, 72, 73,
75, 76

E

Endoterm, 24, 35, 36, 86
Exoterm, 24
Ekstraksi, 14
EDS, 16, 30, 43, 52, 65, 66, 67

F

FTIR, 16, 19, 30, 43, 45, 52, 63, 71, 81,
82, 83, 84, 85

G

Gugus fungsi, 62, 63, 64, 71, 81, 83
Grain Boundary, -

H

Hidrolisis, 35, 40, 41, 90, 92

I

Isolator, 1, 2, 4, 5, 7, 8, 28, 38, 39, 47, 48,
61, 65, 67, 68

J

JCPDS, 72, 76

K

Kondensasi, 90, 91, 92
 Karbosil, 8, 59, 60, 62, 64, 65, 69
 Konduktor, 9, 34, 60, 61, 65, 67, 68
 Kristobalit, 2, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 32, 38, 45, 48, 54, 56
 Kristal, 2, 4, 14, 17, 19
 Kristalinitas, 2
 Kristalisasi, 22, 24, 31, 35, 36, 37, 45, 46, 56, 87
 Kalsinasi, 29, 88
 Kisi Kristal, 89

L

Logam oksida, 47, 49, 89
 Logam Alkoksida, 90

M

Metode padatan, 2, 27, 49, 88, 89
 Metode sol-gel, 2, 5, 15, 27, 28, 39, 48, 49, 51, 52, 90
 Mullite, 7, 8, 47, 52, 56
 Mikrostruktur, 21, 22, 23, 25, 30, 33, 34, 39, 43, 48, 52, 54, 64, 65, 71, 77, 88, 89

N

Nano, 1

O

Orthorhombic, 4

P

Pengabuan, 2, 13, 15
 Pirolysis, 9
 Polimorfi, 4
 Porositas, 8, 25, 34, 36, 37, 38, 49, 56, 59, 60, 88

Q

Quartz, 2, 54

R

Rietveld, 19, 33, 54
 Refraktori, 28, 47
 Refinement, 19, 20, 21

S

SEM, 16, 21, 22, 23, 30, 33, 43, 46, 52, 54, 65, 68, 71, 76, 77, 78, 79, 80, 81
 Secondary electron, 81
 Siloksan, 17, 43, 84, 92
 Sintering, 6, 16, 19, 21, 22, 23, 24, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 45, 46, 48, 50, 53, 54, 56, 57, 60, 67, 80
 Silika gel, 14, 29, 59, 60, 92
 Silanol, 17, 19, 24, 36, 53, 92
 Sol gel, 2, 5, 7, 15, 27, 28, 39, 41, 48, 49, 51, 52, 90, 92
 Shrinkage, 36, 37, 38, 56
 Spektrum, 74, 76, 82, 83, 84, 85
 Spinel, 31, 32

T

TEOS, 6, 28, 48, 53, 54, 92
 Tridimit, 2, 14, 16, 19, 24, 45
 Termal, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 16, 19, 24, 25, 28, 30, 32, 34, 39, 43, 47, 48, 49, 51, 52, 54, 71, 72, 85, 86, 87
 TMOS, 28, 92

U

Ultra violet, 82

V

Vanadium, 90

X

XRD, 16, 17, 19, 30, 32, 33, 43, 45, 52, 53,
54, 64, 66, 72, 73, 76

-oo0oo-

