

**KARAKTERISTIK FUNGSIONALITAS DAN STRUKTUR FASA SILIKA
SEKAM PADI AKIBAT PENAMBAHAN ASPAL**

(Skripsi)

Oleh

**Reza Arsela
1517041004**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

KARAKTERISIK FUNGSIONALITAS DAN STRUKTUR FASA SILIKA SEKAM PADI AKIBAT PENAMBAHAN ASPAL

Oleh

Reza Arsela

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik gugus fungsi, struktur fasa, serta untuk mengetahui sifat fisis kadar air dan pengembangan tebal dari paduan silika sekam padi dengan penambahan aspal. Penelitian ini menggunakan metode alkalis untuk memperoleh serbuk silika, dan dilakukan pencampuran silika aspal untuk mendapatkan serbuk paduan silika aspal. Hasil analisis gugus fungsi yang diperoleh mengindikasikan bahwa pada semua sampel muncul ikatan Si – OH, Si – O – Si, S – O dan C – H. Hasil analisis struktur fasa menunjukkan sampel memiliki fasa amorf dan munculnya karbon. Selain itu penambahan aspal pada semua sampel menyebabkan nilai kadar air dan pengembangan tebal semakin menurun.

Kata Kunci: Aspal, alkalis, sekam padi, silika.

ABSTRACT

CHARACTERISTICS FUNCTIONALITY AND PHASE STRUCTURE OF RICE HUSK SILICA WITH ASPHALT ADDITION

By

Reza Arsela

This study aims to analyze characteristics of functional groups, phase structures, water content, and swelling thickness of rice husk silica with asphalt addition. Alkaline method was used to extract silica from rice husk. Silica and asphalt were mixed to obtain silica asphalt alloy powder. Functional groups analysis indicate that all samples have Si – OH , Si – O – Si, S – O, and C – H bonds. Phase analysis shows that all of the samples have amorphous phase and the appearance of carbon. Besides that, water content and swelling thickness of the samples were decreased with asphalt addition.

Keywords: Asphalt, alkaline, rice husk, silica.

**KARAKTERISTIK FUNGSIONALITAS DAN STRUKTUR FASA SILIKA
SEKAM PADI AKIBAT PENAMBAHAN ASPAL**

Oleh

REZA ARSELA

Skripsi

Sebagai Salah Satu untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Lampung



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi

: **Karakteristik Fungsionalitas dan Struktur Fasa Silika Sekam Padi Akibat Penambahan Aspal**

Nama Mahasiswa

: Reza Arsela

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1517041004

Jurusan

: Fisika

Fakultas

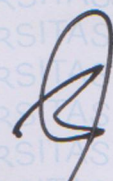
: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

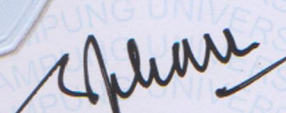


1. **Komisi Pembimbing**

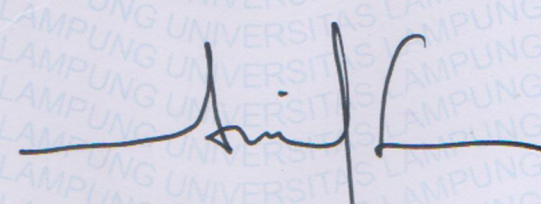
Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D.
NIP. 196110031991031002


Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.
NIP. 196107231986031003

2. **Ketua Jurusan Fisika FMIPA**


Arif Surtono, S. Si., M. Si., M. Eng
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph. D.

Sekretaris

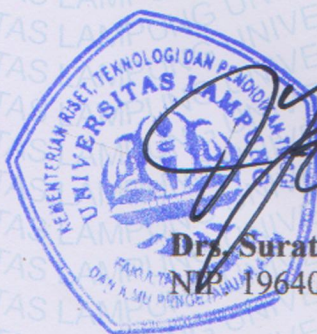
: Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.

Penguji

Bukan pembimbing

: Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M. Sc.

NIP. 196406041990031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 7 Oktober 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam pembuatan skripsi berjudul “Karakteristik Fungsionalitas Dan Struktur Fasa Silika Sekam Padi Akibat Penambahan Aspal” adalah benar karya saya. Penulisan karya saya dibantu dengan arahan dari dosen pembimbing, dan tidak ada karya orang lain yang sama persis dengan judul yang saya pilih. Sejauh pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis, kecuali diacu dalam naskah ini disebutkan di dalam daftar pustaka dibagian akhir skripsi ini.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka samua bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 7 Oktober 2019



Reza Arsela
NPM. 1517041004

RIWAYAT HIDUP

Penulis yang bernama lengkap Reza Arsela dilahirkan di Simpang Tiga Oku Selatan. Pada tanggal 19 Juli 1997 dari pasangan bapak Kulman Hadi dan Ibu Deswita sebagai anak pertama dari tiga bersaudara.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di Negeri 3 Simpang Tiga pada tahun 2009, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Sungai Are pada Tahun 2012, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Muaradua pada Tahun 2015. Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai mahasiswa di Universitas Lampung, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama Menjadi Mahasiswa, Penulis pernah aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung sebagai anggota bidang Minat dan Bakat. Penulis juga pernah menjadi asisten Praktikum Fisika Eksperimen tahun ajaran 2017/2018, Praktikum Elektronika Dasar I pada tahun 2017/2018 untuk mahasiswa Jurusan Fisika MIPA Universitas Lampung. Penulis juga melakukan pelaksanaan Praktik Kerja lapangan (PKL) di Lembaga Balai Besar Keramik Bandung (BBK), pada

Tahun 2018 dengan Judul “ Studi literatur Pembuatan kalsium Oksida (CaO) dariCangkang Kerang Hijau Menggunakan Metode *Thermal Decomposition*”. Penulis juga melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2018 di Desa Harapan Jaya, Pesawaran.

MOTTO

Sabar Memang Sedikit Sulit, Namun Jika Dijalani Pasti Akan
Membuahkan Hasil Yang Sangat Baik Dan Bermanfaat Untuk Kita
Dan Semuanya.

(Surat Al-Anfal ayat 66)

“ Jika Ingin Sukses Bertekadlah untuk Menjadi yang lebih
Bermanfaat”

(Bj. Habibie)

“Bekerja Keraslah dan Diiringi dengan Do’a, Sesungguhnya Allah
sebaik-baik Pemberi Rizki.”

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, saya persembahkan karya kecil ini
kepada

Ibu Terhebat Deswita

dan

Bapak Tersabar Kulmanhadi

**Adik-adikku serta Keluarga Besar yang Selalu Memberi Dukungan, Doa,
dan Semangat**

**Bapak Ibu Guru dan Dosen yang Telah Memberikan Bimbingan dan Ilmu
Pengetahuan Dengan Penuh Keikhlasan Kepadaku**

Rekan-rekan seperjuangan dan sahabat Fisika FMIPA UNILA angkatan 2015

Almamater Tercinta.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Karakteristik Fungsionalitas dan Struktur Fasa Silika Sekam Padi Akibat Penambahan Aspal** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan yang menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya agar lebih sempurna dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 7 Oktober 2019

Penulis,

Reza Arsela

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberi kesehatan, hikmat, karunia serta rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Karakteristik Fungsionalitas dan Struktur Fasa Silika Sekam Padi Akibat Penambahan Aspal”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D., selaku pembimbing utama yang telah memberikan dukungan dan bimbingannya serta saran kepada penulis dalam penyelesaian penelitian ini.
2. Bapak Drs. Pulung Karo-karo M.Si., selaku pembimbing kedua yang telah memberikan saran dan nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, M.Si., selaku pembahas yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membantu dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Arif Surtono, M.Si.,M.Eng., selaku ketua jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Bapak Suratman, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Mipa Universitas Lampung.

6. Bapak Drs. Posman Manurung, M.Si., PhD. Selaku pembimbing Akademik yang telah memberikan saran serta nasehat pada penulis.
7. Segenap Dosen dan Staf di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Kedua orangtuaku Bapak Kulman Hadi dan Ibu Deswita yang selalu memberi dukungan dan Doa tiada henti untuk penulis.
9. Adikku Ranti, Dek Josa, Dek Evi, serta keluarga besarku atas segala dukungan, semangat, dan Do'anya untuk penulis.
10. Tim Silika Aspal Deafani, Ira, Josalina, Hana, dan Reka sebagai Tim seperjuangan dan diskusi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Sahabat kecilku sampai sekarang Silfi, Ellya, Novita, Vivit, Sari, dan Zela yang selalu memberikan semangat dan Do'anya untuk penulis.
12. Teman-teman seperjuanganku Puji, Sri, Nuy, Anggi, dan Elda yang selama ini meberikan bantuan dan semangat bagi penulis.
13. Teman-teman seperjuangan Fisika angkatan 2015 yang memberikan semangat.

Semoga Allah SWT membalas dengan hal yang lebih baik. Aamiin.

Bandar Lampung, 7 Oktober 2019

Penulis,

Reza Arsela

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
 I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	5
E. Manfaat Penelitian	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Silika	6
1. Silika Nabati dari Sekam padi.....	7
2. Proses Sol Gel	8
3. Manfaat Silika Sekam Padi	9
B. Aspal	10
1. Komposisi Aspal	11
2. Paduan Aspal.....	11
C. Karakterisasi dan Uji Sampel.....	12
1. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	12
2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	15
3. Kadar Air.....	19
4. Pengembangan Tebal	19

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	21
B. Alat dan Bahan Penelitian	21
1. Alat Penelitian.....	21
2. Bahan Penelitian.....	22
C. Preparasi Sampel	22
1. Preparasi Sekam Padi.....	22
2. Ekstraksi Silika Sekam Padi.....	22
3. Pembuatan Paduan Silika Aspal.....	24
4. Pembuatan Pelet Paduan Silika Aspal	24
D. Karakterisasi dan Uji	25
1. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	25
2. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	25
3. Pengujian Kadar Air.....	25
4. Pengujian Pengembangan Tebal	26
E. Diagram Alir	26

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengantar.....	29
B. Hasil Preparasi Sampel	29
C. Hasil Paduan Silika Aspal.....	33
D. Hasil Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	35
1. Sampel Silika Tanpa Penambahan aspal (STA)	35
2. Sampel Silika dengan Penambahan Aspal (SA)	36
E. Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	38
1. Sampel Silika Tanpa Penambahan Aspal (STA).....	38
2. Sampel Silika dengan Penambahan Aspal	39
3. Akibat Penambahan Aspal Terhadap Struktur Silika.....	40
F. Hasil Pengukuran Uji Fisis	42
1. Kadar Air	42
2. Pengembangan Tebal	43

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	46
B. Saran	46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Komposisi senyawa sekam padi	7
4.1 Komposisi massa silika aspal.....	33
4.2 Pengukuran uji kadar air	42
4.3 Pengukuran uji fisis pengembangan tebal.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Proses sol menjadi gel.....	9
2.2 Sistem optik dalam teknik FTIR	13
2.3 Hasil spektrum FTIR silika sekam padi	14
2.4 Proses pembentukan sinar-X dalam tabung elektron.....	15
2.5 Pemantulan cahaya pada bidang kristal	16
2.6 Hasil XRD silika sekam padi (a) sebelum sintering (b) sintering 750 °C.....	17
2.7 Hasil XRD (a) Aspal dan nano SiO ₂ (b) Aspal + 4 % nano silika.....	18
3.1 Diagram alir ekstraksi silika sekam padi	27
3.2 Diagram alir pembuatan paduan silika aspal	28
4.1 Preparasi sekam padi.....	30
4.2 (a) Ekstraksi sol basa NaOH 1,5 % dan (b) Sol sekam padi.....	30
4.3 (a) Ekstraksi larutan HNO ₃ 10 % dan (b) Gel silika coklat	31
4.4 (a) Gel silika coklat dan (b) Gel silika putih.....	32
4.5 (a) Pengeringan gel silika dan (b) Silika padatan	32
4.6 (a) Silika halus dan (b) Pelet silika	33
4.7 Bubuk paduan silika aspal.....	34
4.8 Pelet paduan silika Aspal	34
4.9 Spektrum FTIR spektrum sampel STA.....	35

4.9	Spektrum FTIR (a) STA; (b) SA: 0,7; (c) SA: 0,8; dan (d) SA: 0,9.....	37
4.10	Pola difraktogram STA	39
4.11	Pola difraktogram SA 0,8	40
4.12	Pola difraktogram (a) STA dan (b) SA 0,8	41
4.13	Grafik uji kadar air	42
4.14	Grafik uji pengembangan tebal	44

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di zaman yang semakin modern ini, teknologi berkembang dengan sangat pesat. Salah satu perkembangan teknologi yang terus mengalami kemajuan adalah dibidang material seperti silika. Silika merupakan senyawa oksida silikon dengan rumus kimia (SiO_2). Silika mempunyai ciri-ciri yakni berbentuk padatan atau serbuk, stabilitas termal yang tinggi, dapat bereaksi dengan asam dan basa (Katsuki *et al.*, 2005). Selain sifat tersebut silika juga memiliki sifat karakteristik morfologi yaitu, luas permukaan dan volume porinya yang besar, serta kemampuan untuk menyerap berbagai zat seperti air (Nugroho *et al.*, 2006).

Silika merupakan bahan baku utama pada industri *glass*, keramik, dan banyak diaplikasikan sebagai material bioteknologi, juga sebagai material komposit (Fernandes *et al.*, 2017). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, sumber silika dapat diperoleh dari nabati seperti, sabut kelapa (Anuar *et al.*, 2018), jerami gandum (Patel *et al.*, 2016), tongkol jagung (Velmurugan *et al.*, 2015), dan limbah pertanian seperti sekam padi (Jezreal *et al.*, 2011 dan Kordatos *et al.*, 2008). Menurut Domanic *et al.* (2013) dan Johan *et al.* (2016) sekam padi berpotensi sebagai sumber silika dengan kemurnian tinggi dan memiliki potensi yang baik dilihat dari ketersediaan yang cukup banyak. Penelitian yang telah

dilakukan oleh Bakar *et al.* (2016) memperoleh silika dari sekam padi dengan kemurnian 99 %. Silika sekam padi dapat diekstraksi menggunakan metode alkalis dan pengabuan. Menurut Simanjuntak *et al.* (2016) menunjukkan bahwa dengan metode alkalis dapat memperoleh silika dalam bentuk sol, sehingga dapat memudahkan pemanfaatannya melalui proses sol gel. Proses sol gel memiliki keuntungan yaitu, tingkat stabilitas termal yang baik, daya tahan pelarut yang baik, dan memiliki hasil kemurnian yang tinggi untuk mendapatkan silika.

Silika sekam padi merupakan salah satu material yang dapat dijadikan sebagai bahan komposit untuk memperbaiki sifat-sifat sesuai dengan yang diinginkan, dan juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*) (Ahmed *et al.*, 2015). Penelitian Hildayati *et al.* (2009) menunjukkan silika yang ditambahkan ke dalam karet alam pada hasil struktur fasa berbentuk amorf. Penelitian ini juga menunjukkan karakteristik fungsionalnya bahwa terjadi sedikit pergeseran gelombang akibat interaksi antar permukaan SiO_2 dengan karet alam. Pergeseran diakibatkan terjadinya vibrasi ulur dari Si – O antara 1644,98 sampai 1100 cm^{-1} . Hasil ini didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Oui *et al.* (2002) penggunaan silika sekam padi pada karet alam menunjukkan adanya vibrasi pada bilangan gelombang 1100 cm^{-1} adalah Si – O. Silika memiliki sifat *hidrofilik* sedangkan karet alam memiliki sifat *hidrofobik* sehingga silika cenderung teraglomerasi pada karet alam (Domanic *et al.*, 2013). Selain material karet alam, salah satu material lain yang dapat dikompositkan dengan silika sebagai *filler* adalah aspal.

Aspal merupakan bahan material yang berwarna hitam atau coklat, memiliki sifat viskoelastis, kedap air (*hidrofobik*), memiliki daya adhesi dan kohesi yang baik

(Becker *et al.*, 2001). Secara umum komposisi aspal terdiri dari dua jenis senyawa yang dominan, yaitu *asphaltenes* dan *maltenes*. *Asphaltenes* yaitu senyawa berwarna hitam atau coklat tua yang mengandung karbon 79 – 88 %, hidrogen 7 – 13 %, sulfur 8 %, nitrogen 3 %, dan senyawa oksigen 2 – 8 %. *Maltenes* mengandung senyawa *saturates*, *aromatic* dan *resins* (Readet *et al.*, 2003).

Aspal biasanya menggunakan bahan aditif untuk meningkatkan atau memperbaiki sifat fisis aspal seperti penetrasi, kekentalan, dan titik lembek. Beberapa bahan aditif yang digunakan yaitu *polyethylene* (PE) (Ho *et al.*, 2006), limbah plastik (Naskar *et al.*, 2010 dan Huang *et al.*, 2007), *Styrene Butadiene styrene* (SBS), *Styrene Butadiene Rubber* (SBR) (Yildirim, 2007), dan bahan seperti *nanoclay* (You *et al.*, 2011). Selain bahan tersebut, bahan yang dapat digunakan dalam pencampuran aspal adalah serbuk silika. Karthikeyan dan Bindhu (2018) menjelaskan bahwa silika lebih efektif dijadikan sebagai bahan pencampuran aspal yang dapat meningkatkan sifat mekanik dari campuran bahan tersebut. Studi literatur menunjukkan silika yang dicampur ke dalam aspal dapat meningkatkan karakteristik kedua bahan komposit tersebut (Yao *et al.*, 2012). Menurut penelitian Budiawati (2019) penambahan silika terhadap aspal menyebabkan puncak *asphaltene* tertutupi oleh munculnya puncak silika amorf dan karbon amorf. Isma (2019) menyatakan puncak vibrasi dari gugus C – O dan S – O semakin melemah seiring dengan penambahan silika terhadap aspal.

Berdasarkan penjelasan yang telah dipaparkan, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang penambahan aspal terhadap silika pada perubahan struktur fasa, fungsionalitas, dan uji fisis dengan perbandingan silika dan aspal (1: 0,7; 1: 0,8; dan 1: 0,9). Pada penelitian ini silika sekam padi diperoleh dengan metode alkalis

melalui proses sol gel, dengan menggunakan basa NaOH 1,5% dan asam nitrat HNO_3 10%. Hasil penelitian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffracton* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), serta analisis sifat fisis kadar air, dan pengembangan tebal (*swealling thickness*).

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik gugus fungsi dan struktur fasa paduan silika sekam padi akibat penambahan aspal ?
2. Bagaimana karakteristik terhadap uji fisis kadar air dan pengembangan tebal silika sekam padi akibat penambahan aspal ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini diantaranya adalah:

1. Mengetahui karakteristik gugus fungsi dan struktur fasa paduan silika sekam padi akibat penambahan aspal;
2. Mengetahui karakteristik terhadap uji fisis kadar air dan pengembangan tebal silika sekam padi akibat penambahan aspal.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu perbandingan massa paduan silika sekam padi dan aspal yang digunakan yaitu 1: 0,7; 1: 0,8; dan 1: 0,9.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait tentang gugus fungsi, struktur, dan sifat fisis kadar air dan pengembangan tebal silika sekam padi akibat penambahan aspal. Pada penelitian ini juga diharapkan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya tentang silika sekam padi akibat penambahan aspal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Silika

Silika adalah senyawa kimia yang terbentuk dari atom silikon dan oksida (SiO_2) yang merupakan salah satu bahan yang melimpah di bumi. Silika mempunyai ciri-ciri berbentuk padatan atau serbuk yang halus berwarna putih. Silika memiliki karakteristik yaitu mempunyai titik lebur $1.610\text{ }^\circ\text{C}$, titik didih $2.230\text{ }^\circ\text{C}$, bentuk kristalin seperti kuarsa, tridimit, dan kristabolit (Bageshwaran *et al.*, 2014). Menurut Smallman dan Bishop (2000) rentang stabilitas pada silika kristalin kristabolit adalah ($> 1.470\text{ }^\circ\text{C} - 1.723\text{ }^\circ\text{C}$), tridimit ($870\text{ }^\circ\text{C} - 1.470\text{ }^\circ\text{C}$), dan kuarsa ($< 570\text{ }^\circ\text{C}$ sampai $870\text{ }^\circ\text{C}$).

Salah satu sumber silika dapat diperoleh dari bahan nabati seperti daun bambu, ampas tebu, jerami gandum, dan sekam padi. Beberapa penelitian yang telah dilakukan diperoleh kemurnian silika dari daun bambu sebesar 75 % (Aminullah *et al.*, 2015), ampas tebu 66,77 % (Purnawan *et al.*, 2018), jerami gandum 80 % (Patel *et al.*, 2016). Sedangkan silika nabati dari sekam padi memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan sumber nabati lainnya yaitu memperoleh silika dengan kemurnian sebesar 99,66 % (Yalcin and Sevin, 2001), 80 – 90 % (Faizul *et al.*, 2013). Oleh karena itu, dilihat dari kemurniannya silika nabati dari sekam padi sangat berpotensi untuk digunakan sebagai bahan material berbasis silika.

1. Silika Nabati dari Sekam Padi

Sekam padi merupakan salah satu sumber silika nabati yang memiliki kandungan senyawa organik (protein, lemak, dan asam amino) serta senyawa anorganik (kalium, natrium, fosfor, dan silika). Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan oleh Majumder *et al.* (2014) menunjukkan bahwa sekam padi memiliki kandungan silika sebesar 80 – 90 % dan diikuti senyawa lain yang cukup rendah seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi senyawa sekam padi (Majumder *et al.*, 2014).

Senyawa	Kandungan (%)
Alumina	1 – 25
Oksida Besi	0,5
Natrium Oksida	0,2 – 0,5
Kalium Oksida	1 – 2
Magnesium Oksida	0,5 – 2,0
Silika	80 – 90

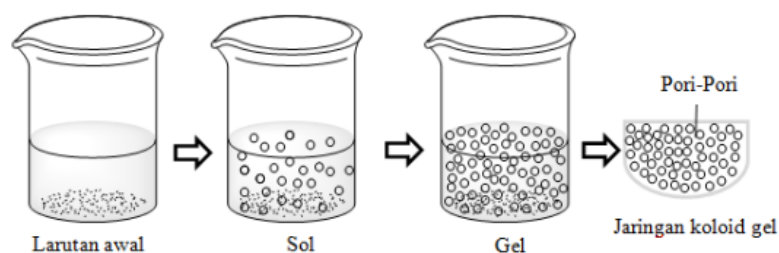
Untuk mendapatkan silika dari sekam padi dapat diperoleh menggunakan metode pengabuan dan alkalis. Metode pengabuan dilakukan dengan cara perlakuan termal untuk mendapatkan silika dalam bentuk padatan atau serbuk. Sedangkan metode ekstraksi alkalis dilakukan dengan perlakuan asam dan basayang memperoleh silika dalam bentuk sol (Sembiring dan Simanjuntak, 2013; Handayani *et al.*, 2015). Berdasarkan penelitian Haslinawati (2009) memperoleh silika dengan cara perlakuan termal pada suhu 500 °C dan 800 °C. Perlakuan pada suhu 500 °C sekam padi dipanaskan selama 1 jam diperoleh abu silika berwarna hitam. Selanjutnya abu silika yang berwarna hitam diberi perlakuan termal pada suhu 800 °C selama 2 jam untuk memperoleh silika bubuk berwarna putih. Kelapathy *et al.* (2000) melakukan penelitian dengan ekstraksi alkalis menggunakan NaOH pada konsentrasi 1 N yang menghasilkan filtrat silika, dan

dilanjutkan dengan proses pengendapan gel silika dengan proses titrasi asam HCL sampai pH 7. Silika gel yang diperoleh dipanaskan dengan suhu 80 °C selama 12 jam untuk mendapatkan silika amorf. Berdasarkan kedua metode tersebut, keuntungan yang diperoleh dari metode alkalis tidak memerlukan suhu yang tinggi untuk menghasilkan silika amorf.

Perolehan silika dari sekam padi yang di karakterisasi menggunakan XRD memiliki pola difraktogram amorf dengan intensitas yang tinggi pada $2\theta = 21, 78^\circ$ (Sukaet *al.*, 2008 dan Bakar *et al.*, 2016), $2\theta = 23^\circ$ (Awizar *et al.*, 2013), dan $2\theta = 22,5^\circ$ (Liou dan Yang., 2011). Silika amorf dapat bertransformasi menjadi fasa kristal seperti kristabolit dan tridimit apabila diberi perlakuan panas di atas suhu 650 °C (Smallman dan Bishop, 2000). Silika sekam padi memiliki gugus silanol dan silakson yang ditunjukkan pada hasil FTIR. Pada penelitian Sembiring dan Karo-Karo (2007) silika sekam padi memiliki beberapa gugus fungsi yaitu silanol O – H pada bilangan 3440,8 cm^{-1} yang menghasilkan ikatan Si – OH akibat terjadinya interaksi air dengan silika, serta terdapat gugus silakson Si – O – Si akibat deformasi Si – O pada bilangan gelombang 470,6 dan 798,5 cm^{-1} . Bilangan gelombang 1635,5 cm^{-1} terdapat ikatan C – O, dan pada bilangan gelombang 968,2 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan Si – O.

2. Proses Sol Gel

Proses sol gel merupakan proses pencampuran pembentukan senyawa organik melalui reaksi secara kimia dalam larutan pada suhu rendah. Proses sol gel terjadi dari perubahan fasa larutan awal sol menjadi fasa padat gel, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Proses sol menjadi gel (Feinle *et al.*, 2015).

Pada umumnya, tahapan proses sol gel terbagi atas empat bagian yaitu hidrolisis, kondensasi, pematangan (*aging*) dan pengeringan (*drying*). Hidrolisis merupakan proses dari larutan awal menjadi sol karena adanya pencampuran koloid kedalam pelarut seperti asam dan basa. Kondensasi merupakan tahapan proses partikel-partikel kecil bergabung menjadi partikel-partikel koloid atau disebut dengan proses transisi sol menjadi gel. Pada proses pematangan akan terjadi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku dan kuat. Hal ini menyebabkan cairan yang terdapat di dalam gel akan diserap, sehingga gel mengalami penyusutan. Fase cair atau pelarut yang tersisa perlu dihilangkan melalui proses pengeringan dengan cara menguapkan larutan dengan perlakuan termal (Herrera *et al.*, 2013).

3. Manfaat Silika Sekam Padi

Dalam bidang material silika dari sekam padi telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan keramik seperti *cordierite* (Sembiring, 2008), *mullite* (Nevivilanti *et al.*, 2010), borosilikat (Riyanto *et al.*, 2009), dan karbosil (Simanjuntak *et al.*, 2012). Selain itu silika dimanfaatkan sebagai bahan katalis (Khadijeh *et al.*, 2013), zeolit (Azizi and Yousefpour, 2010), dan sebagai bahan komposit polimer (Ahmed *et al.*, 2013). Silika sebagai bahan komposit sering digunakan sebagai *filler* karena ukuran silika memiliki partikel yang sangat

halus. Ahmed *et al.* (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh *filler* dari silika sekam padi yang ditambahkan ke dalam *marmer sludge*(MS) dan *natural rubber* (NR). Dari hasil penelitian tersebut menghasilkan peningkatan sifat mekanik dari ketiga kombinasi bahan komposit tersebut, seperti kuat tarik, kekuatan sobek, dan kekerasan.

B. Aspal

Aspal adalah material hasil penyaringan minyak mentah yang didefinisikan sebagai material perekat dan berwarna coklat tua atau hitam. Aspal memiliki sifat viskoelastis yang mempunyai daya lekat adhesi, sehingga akan melunak dan mencair bila mendapatkan perlakuan panas dan akan menjadi padat pada temperatur rendah. Selain itu, aspal mempunyai sifat tidak larut dalam air namun bisa larut dalam cairan bensin, minyak tanah, dan gas. Aspal biasanya digunakan untuk material perkerasan jalan yang dimanfaatkan sebagai bahan pengikat dan bahan pengisi. Bahan pengikat memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat. Bahan pengisi digunakan untuk mengisi rongga yang ada di dalam butir agregat itu sendiri (Sukirman, 2003).

Berdasarkan jenisnya aspal dapat diperoleh dari aspal buatan seperti aspal padat dan aspal cair. Aspal padat merupakan hasil penyulingan minyak bumi yang disuling dua kali. Jenis aspal padat ditandai dengan nilai penetrasinya. Semakin besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal akan semakin rendah dan sebaliknya. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, dan solar.

1. Komposisi Aspal

Aspal memiliki komposisi yang tersusun dari *asphaltenes* dan *maltenes*. *Asphaltenes* yaitu senyawa berwarna hitam atau coklat tua yang mengandung berat karbon 79 – 88 %, hidrogen 7 – 13 %, nitrogen 3 %, sulfur 8 %, dan oksigen 2-8 %. *Asphaltenes* sangat berpengaruh dalam menentukan sifat aspal, semakin tinggi *asphaltenes* maka bitumen akan semakin keras dan semakin kental, sehingga titik lelehnya akan semakin tinggi dan menyebabkan nilai penetrasinya semakin rendah. Sedangkan *malthenes* mengandung senyawa *saturates*, *aromatic*, dan *resins*. Senyawa *Resins* adalah cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi dari aspal yang semakin kuat. *Aromatic* adalah molekul aspal yang paling ringan dan paling banyak terkandung dalam aspal sekitar 40 % - 65% (Read et al., 2003).

2. Paduan Aspal

Paduan aspal merupakan campuran aspal yang dibuat dengan proses pencampuran antara aspal keras dengan suatu bahan tambahan, bahan tambahan dimaksudkan mampu menaikkan mutu aspal. Beberapa bahan yang telah banyak dicampur dengan aspal yaitu penambahan bahan polimer seperti karet ban bekas (Hainin et al., 2015), *nanoclay* (Yao et al., 2012), dan *styrene butadiene styrene* (SBS) (Airey, 2003). Penggunaan bahan tersebut pada proporsi tertentu secara garis besar menghasilkan peningkatan kualitas aspal. Salah satu bahan unggul lain yang dapat digunakan sebagai bahan komposit aspal adalah nano silika. Hasil studi literatur yang telah dilakukan oleh Yao et al., (2012); Eneib dan Diab (2017) memperoleh hasil bahwa dengan penambahan nanosilika mengalami penurunan viskositas,

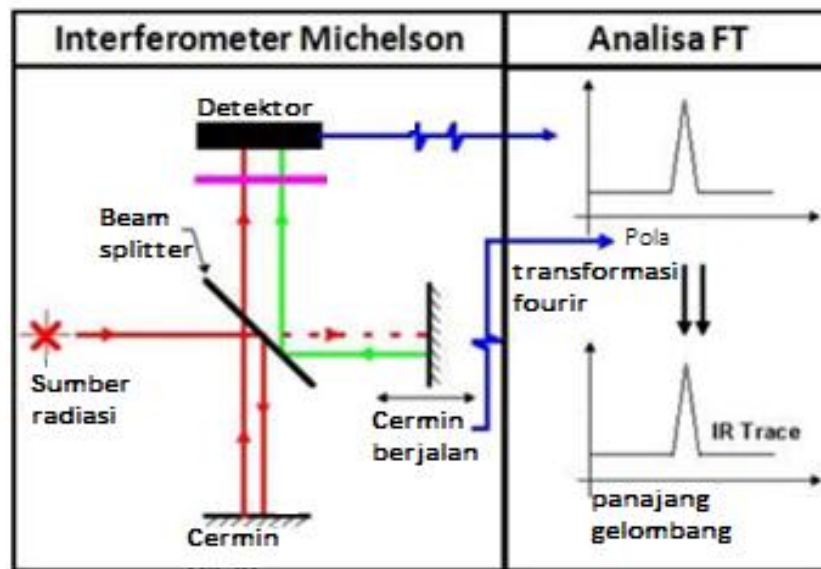
meningkatkan kemampuan pengikat aspal, penuaan aspal menurun, dan *rutting* membaik. Sehingga akan membantu mewujudkan perkerasan yang tahan lama.

C. Karakterisasi dan Uji Sampel

1. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

FTIR adalah salah satu alat yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi yang digunakan adalah spektroskopi inframerah yang didasarkan pada fenomena terserapnya radiasi elektromagnetik inframerah oleh vibrasi molekul. Spektrum serapan inframerah suatu material yang mempunyai pola yang khas, dan berguna untuk identifikasi material dari keberadaan gugus-gugus fungsi yang ada (Setiabudi *et al.*, 2012).

Spektrometer FTIR dilengkapi oleh sistem optik berdasarkan interferometer Michelson. Spektrometer terdiri dari *beam splitter*, cermin datar (diam dan bergerak). *Beam splitter* digunakan untuk memecah dan menyatukan kembali berkas sinar yang mengenainya. Berkas sinar hasil penggabungan dan 2 berkas yang telah dipecah akan terjadi interferensi dengan memvariasikan jarak tempuh berkas dengan mengubah posisi cermin bergerak menjauh dan mendekat. Cermin datar berjumlah 2 buah yang digunakan untuk memantulkan dari *beam splitter* kembali ke *beam splitter* lagi untuk digabung agar terjadi proses interferensi gelombang cahaya. Teknik pengukuran spektrometer FTIR adalah mengumpulkan spektrum inframerah yang berupa gelombang cahaya monokromatik. Sistem optik dalam teknik FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.2.



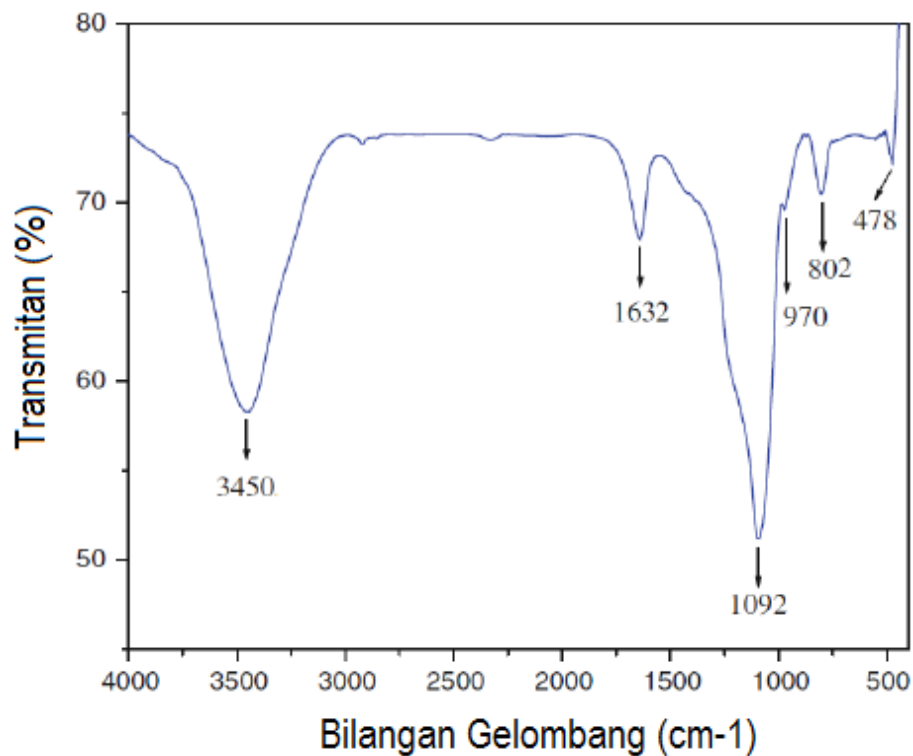
Gambar 2.2. Sistem optik dalam teknik FTIR (Setiabudi *et al.*, 2012).

Pada saat cahaya terkumpulkan, terjadi pencatatan jumlah energi yang diserap. Energi yang diserap menyebabkan kenaikan amplitudo vibrasi atom-atom yang terikat dengan molekul benda dalam keadaan vibrasi tereksitasi. Sehingga hasil spektrum mempresentasikan besarnya penyerapan dan transmisi yang mencirikan gugus fungsi molekul tersebut. Besarnya energi yang diserap dapat dihitung menggunakan rumus (2.1), sedangkan untuk menentukan nilai besarnya bilangan gelombang dapat diperkirakan menggunakan persamaan (2.2).

$$E = \frac{hc}{l} \quad (2.1)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{2\pi c} = \sqrt{\frac{k}{m_1 m_2 / m_1 + m_2}} \quad (2.2)$$

dengan, E = energi yang diserap (J), h = konstanta Planck sebesar ($6,62 \times 10^{-34}$ j.s), c = kelajuan cahaya (3×10^{10} cm/s), λ = panjang gelombang (cm), $\bar{u}$ = bilangan gelombang (cm^{-1}), m_1 dan m_2 = massa atom 1 dan 2 (g), k = konstanta gaya (g/s^2). Rida *et al.* (2014) melakukan penelitian tentang ekstraksi silika dari sekam padi menggunakan FTIR. Hasil dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Hasil spektrum FTIR silika sekam padi (Rida *et al.*, 2014).

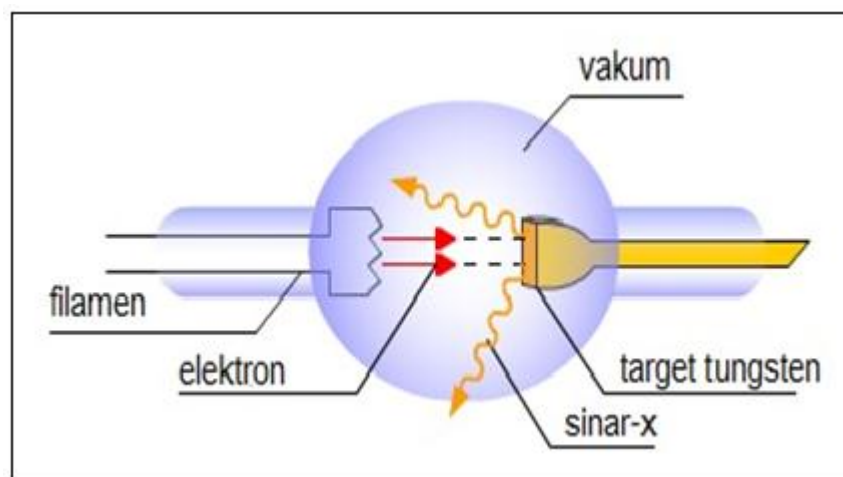
Gambar 2.3 menunjukkan adanya spektrum bilangan gelombang 3450 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya gugus O – H, karena adanya molekul air yang teradsorpsi pada silika. Pada bilangan gelombang 1632 cm^{-1} menunjukkan pita serapan getaran lentur O – H, yang mengindikasikan molekul air tidak dapat sepenuhnya hilang. Pita serapan 1092 cm^{-1} terjadi penurunan kuat akibat getaran asimetris dari ikatan silakson dari Si – O – Si, ikatan ini menunjukkan adanya matriks silika. Kehadiran pita serapan pada bilangan gelombang 802 cm^{-1} terjadi

karena perenggangan Si – O – Si dan pada pita serapan 478cm^{-1} terdapat getaran lentur dari Si – O – Si, sedangkan pada pita serapan 972cm^{-1} menunjukkan terjadinya perenggangan getaran Si – O dari kelompok silanol.

2. X- Ray Diffraction (XRD)

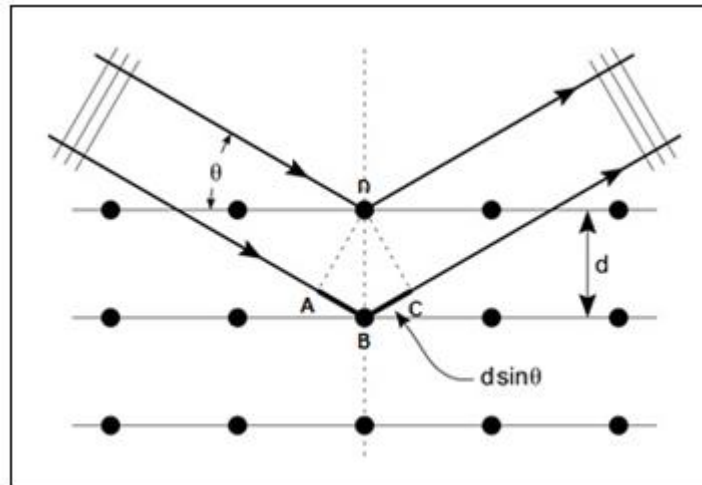
XRD merupakan metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui senyawa kristal yang terbentuk. Dari prinsip dasar untuk menghasilkan sinar-X harus terdiri dari beberapa komponen utama yaitu sumber elektron (katoda), tegangan tinggi untuk mempercepat elektron, dan logam target (anoda). Ketiga komponen tersebut merupakan komponen utama untuk suatu bidang sinar-X (Cullity, 1978).

Sinar-X dapat diproduksi di dalam wadah tabung yang kedap udara dengan cara memanaskan filamen sehingga mengeksitasi elektronnya yang kemudian dipercepat dengan listrik bertegangan tinggi sehingga elektron memiliki energi kinetik yang tinggi. Karena elektron bermuatan negatif, maka elektron akan bergerak menuju sebuah plat logam yang diletakkan pada bagian anoda yang bermuatan positif pada target tungsten. Proses terbentuknya sinar-X dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Proses pembentukan sinar-X dalam tabung elektron (Setiabudi *et al.*, 2012).

Bragg menunjukkan bahwa sinar datang yang akan mengenai sampel akan memantulkan radiasi dengan cara sama persis dengan peristiwa pemantulan cahaya bidang kristal yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



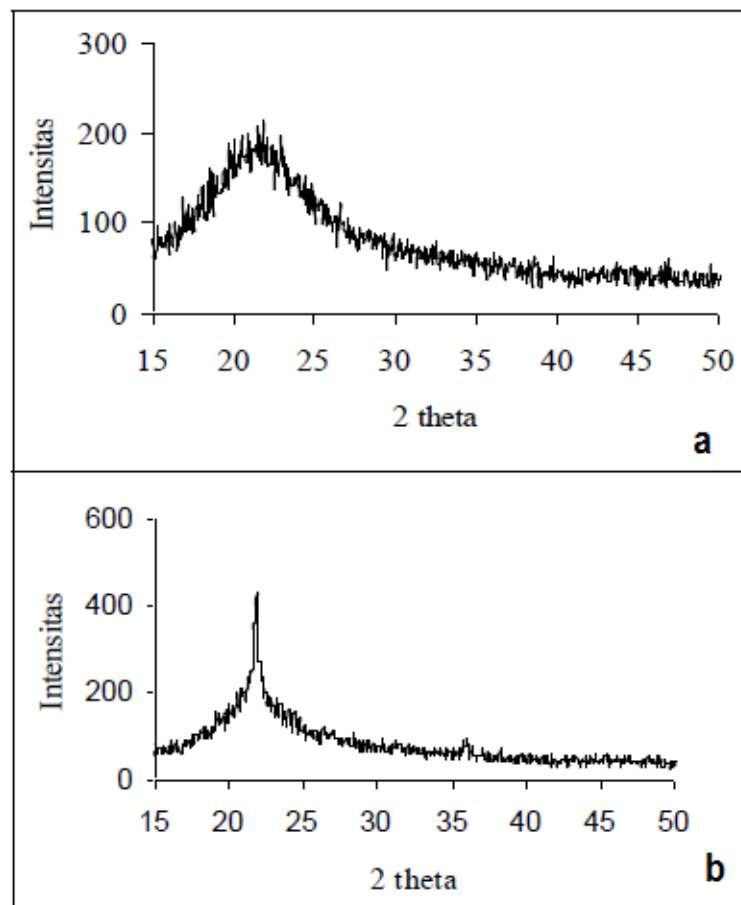
Gambar 2.5. Pemantulan cahaya pada bidang kristal (Cullity, 1978).

Jika seberkas sinar-X dengan panjang gelombang (λ) diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut θ maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang kristal. Sinar yang sefase akan saling menguatkan dan yang tidak sefase akan saling meniadakan atau melemahkan. Berkas sinar sefase tersebut menghasilkan puncak difraksi. Berkas sudut difraksi tergantung pada panjang gelombang (λ) berkas sinar-X dan jarak antar bidang penghamburan. Difraksi dapat terjadi kapanpun bila hukum Bragg terpenuhi, rumus sederhana hukum Bragg seperti persamaan 2.1.

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.1)$$

dengan λ adalah panjang gelombang radiasi (m), θ adalah sudut difraksi, dan d adalah jarak antar bidang (m).

Karakterisasi XRD telah banyak digunakan oleh para peneliti untuk mengetahui struktur fasa yang terbentuk pada sampel. Sembiring dan Karokaro (2007) menggunakan XRD untuk menganalisis struktur silika dari sekam padi apakah berbentuk fasa amorf atau kristal. Hasil XRD struktur fasa yang diperoleh ditunjukkan pada pola difraktogram yang terdapat pada Gambar 2.6.

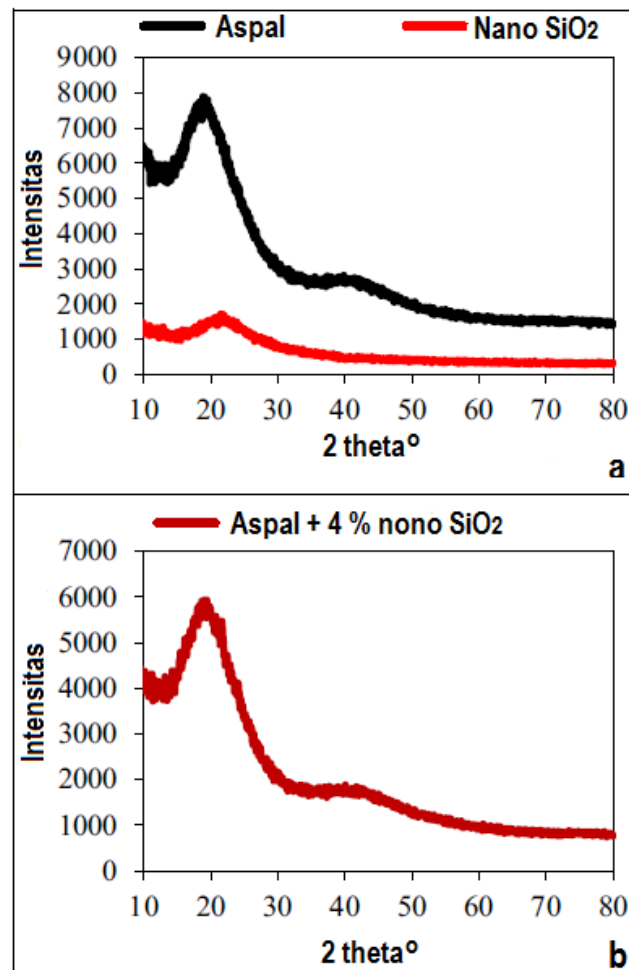


Gambar 2.6. Hasil XRD silika sekam padi (a) sebelum sintering, (b) sintering 750 °C (Sembiring dan Karokaro., 2007).

Gambar 2.4 merupakan hasil karakterisasi XRD pada sampel silika sekam padi yang dilakukan dengan sebelum sintering dan sintering pada suhu 750 °C. Gambar 2.4(a) memperlihatkan keseluruhan difraktogramnya berbentuk struktur amorf, namun pada $2\theta = 21,9^\circ$ terbentuk puncak amorf yang memiliki intensitas

yang tinggi dibandingkan 2θ lainnya. Pada Gambar 2.4(b) menunjukkan bahwa pola difraktogram yang terbentuk menjadi kristal karena adanya penambahan suhu 750 °C. Sehingga struktur amorf yang terbentuk mulai mengalami transformasi menjadi struktur kristal tridimit yakni pada $2\theta = 21,9^\circ$.

Nazari *et al.* (2018) melakukan penelitian menggunakan karakterisasi XRD, untuk mengetahui struktur pada sampel modifikasi aspal dengan penambahan 4 % nano silika (SiO_2). Hasil karakterisasi XRD yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Hasil XRD (a) Aspal dan nano SiO_2 dan (b) Aspal + 4 % nano SiO_2 .

Hasil analisis XRD yang diperoleh menunjukkan pola difraksi yang terbentuk pada Gambar 2.7(a) tidak terdapat puncak yang tajam pada difraktogram aspal maupun nano silika atau fasa yang terbentuk adalah amorf. Untuk hasil yang ditunjukkan pada Gambar 2.7(b) memperoleh bahwa sampel aspal yang dicampur dengan 4 % nanosilika juga memiliki struktur fasa amorf dengan adanya keberadaan karbon dan silika. Teridentifikasinya karbon amorf pada $2\theta = 18^\circ$ dan keberadaan silika amorf terdapat pada intensitas yang tinggi yaitu $2\theta = 23^\circ$.

3. Kadar Air

Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung dalam bahan. Kadar air juga salah satu karakteristik yang sangat penting pada suatu material, karena air dapat mempengaruhi penampakan dan sifat fisis dari material tersebut (Winarno, 1997). Analisis kadar air dilakukan dengan pemanasan menggunakan oven. Kadar air dihitung sebagai persen berat, artinya berapa gram selisih berat dari sampel yang belum dikeringkan dengan sampel yang telah dikeringkan. Jadi kadar air dapat diperoleh dengan menghitung kehilangan berat sampel yang dipanaskan. Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan SNI:03-1971-1990 dengan pemanasan sampel selama 3 jam. Nilai persen kadar air dihitung dengan persamaan 2.2.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \left(\frac{m_3 - m_5}{m_5} \right) \times 100 \% \quad (2.2)$$

dengan, m_3 adalah massa sampel sebelum dipanaskan (g) dan m_5 adalah massa sampel setelah dipanaskan (g).

4. Pengembangan Tebal

Pengembangan tebal adalah suatu perubahan ukuran rongga serat akibat menyerap air yang membuat sampel menjadi kaku. Pengujian ini dilakukan berdasarkan pada SNI: 03-3205-2006, dengan mengukur tebal sampel sebelum dan setelah direndam dengan akuades selama 24 jam. Dilanjutkan dengan menghitung nilai pengembangan tebal menggunakan persamaan 2.3.

$$\text{Pengembangan Tebal (\%)} = \left(\frac{T_1 - T_0}{T_0} \right) \times 100\% \quad (2.3)$$

dengan, T_1 adalah tebal sampel setelah perendaman (mm) dan T_0 adalah tebal sampel awal sebelum perendaman (mm).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei sampai dengan Juli 2019 di Laboratorium Fisika Eksperimen, Laboratorium Fisika Material, Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung. Karakterisasi XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang, karakterisasi FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gadjah Mada, uji fisis kadar air dan pengembangan tebal dilakukan di Laboratorium Fisika material Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

Alat-alat yang kami gunakan dalam penelitian ini adalah gelas ukur, *beaker glass*, neraca digital, aluminum foil, pH indikator, spatula, mortar, pastel, kompor listrik, tisu, kertas saring, oven, *stopwatch*, plastik *cling wrap*, panci, corong *bucher*, tabung *erlenmayer*, *hot plate stirrer*, *magnetic bar*, ayakan 150 mesh dan 250 mesh, botol sampel, cawan porselin, batang pengaduk, *Hydrolic press*(GRASEBY SPECAC), XRD (X'Pert PRO PANalytical) dan FTIR (Nicolet iS10 *Spectrometer*).

2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekam padi untuk memperoleh silika (SiO_2), *natrium hidroksida* (NaOH) 99 %, asam nitrat (HNO_3) 68 %, akuades, bensin, dan aspal sebagai bahan pengikat.

C. Preparasi Sampel

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan empat tahapan yaitu preparasi sekam padi, ekstraksi silika sekam padi, pembuatan paduan silika aspal, dan pembuatan pelet silika aspal.

1. Preparasi Sekam Padi

Sekam padi terlebih dahulu dibersihkan dengan air bersih dan dilakukan proses perendaman sekam padi selama 1 jam. Setelah direndam sekam padi yang mengapung dipermukaan air dibuang dan yang tenggelam diambil. Sekam padi yang tenggelam diambil dan direndam selama 6 jam dengan tujuan untuk membersihkan sampel dari pengotor yang larut dalam air seperti tanah, batang padi, dan pengotor lainnya. Selanjutnya, sekam padi ditiriskan dan dijemur selama ± 2 hari. Selama proses penjemuran sekam padi diratakan agar kering secara menyeluruh. Setelah itu sekam padi dioven pada suhu 110°C selama ± 30 menit agar sekam padi benar-benar kering.

2. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Sekam padi yang sudah di preparasi selanjutnya di ekstraksi dalam larutan basa NaOH 1,5 % dengan cara menimbang sekam padi sebanyak 50 gram yang dimasukkan ke dalam gelas *beaker*. Selanjutnya menyiapkan akuades sebanyak

500 ml dan larutan NaOH 1,5 % untuk dituangkan kedalam sekam padi hingga sekam padi sudah tercampur dan terendam seluruhnya. Sekam padi yang sudah tercampur dipanaskan dengan kompor listrik pada daya 600 Watt selama ± 30 menit sambil diaduk secara perlahan-lahan dengan menggunakan spatula agar panasnya merata sampai mendidih. Selanjutnya apabila sudah mendidih sol silika didiamkan untuk menghilangkan uap panas. Setelah itu sol silika yang diperoleh didinginkan dan ditutup menggunakan plastik *cling wrap* selama ± 24 jam proses ini disebut penuaan (*aging*).

Setelah proses *aging*, sol silika yang telah diperoleh selanjutnya disaring menggunakan kertas saring pada corong *bucher* yang bertujuan untuk memisahkan sol silika dari zat pengotor dan ampas sekam agar memperoleh filtrat sol silika terlarut. Selanjutnya Ekstrak sol silika ditambahkan larutan asam nitrat (HNO_3) 10 % sebanyak 100 mL tetes demi tetes ke dalam sol silika hingga mencapai pH 7 untuk memperoleh silika gel. Perubahan proses gel ini dilakukan menggunakan *hot plate stirrer* dengan kecepatan 1000 rpm agar larutannya homogen untuk memperoleh gel silika. Gel silika yang diperoleh *diaging* selama 24 jam dengan tujuan agar gel silika menjadi lebih kaku.

Setelah gel silika *diaging* dan menghasilkan gel kaku yang berwarna coklat, selanjutnya gel silika dicuci dengan akuades hangat dan disaring menggunakan kertas saring hingga gel silika berwarna putih. Silika gel yang sudah bersih atau putih, dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama ± 3 jam untuk memperoleh silika padatan. Selanjutnya silika padatan digerus menggunakan mortar dan pastel selama ± 1 jam hingga menjadi serbuk halus. Serbuk silika yang

sudah digerus diayak dengan ukuran 250 mesh untuk mendapatkan serbuk silika yang halus dan homogen dengan kode sampel (STA).

3. Pembuatan Paduan SilikaAspal

Pembuatan paduan silika aspal dilakukan dengan pencampuran paduan silika aspal menggunakan perbandingan massa 1: 0,7; 1: 0,8; dan 1: 0,9, dengan kode sampel yaitu SA: 0,7; SA: 0,8; dan SA: 0,9. Pembuatan paduan silika aspal diawali dengan menimbang silika sebanyak sebanyak 5 gram, dan aspal sebanyak 3,5 gram; 4 gram dan 4,5 gram. Selanjutnya aspal dicairkan terlebih dahulu dengan pelarut bensin sebanyak 30 ml sambil diaduk diatas *hot plate* stirrer pada suhu 160 °C untuk memperoleh aspal cair. Aspal yang sudah cair ditambahkan serbuk silika dikit demi sedikit sambil diaduk menggunakan spatula sampai menjadi serbuk silika aspal yang homogen. Serbuk yang sudah tercampur dilakukan pengeringan dengan oven pada suhu 150 °C selama 3 jam setelah itu serbuk silika aspal digerus dan diayak.

4. Pembuatan Pelet Paduan Silika Aspal

Pembuatan pelet paduan silika aspal dilakukan menggunakan alat *hydraulic press*. Langkah pertama yang dilakukan yaitu serbuk paduan silika aspal ditimbang sebanyak 2 gram untuk masing-masing perbandingan sampel. Selanjutnya sampel dimasukan ke dalam cetakan *press* yang berbentuk silinder dengan diameter 2 cm. Setelah itu cetakan *press* dimasukkan ke dalam alat *pressing*, dan memutar sekrup untuk menahan tuas agar terkunci. Tuas pompa ditekan sampai mendapatkan berat beban sebesar 10 ton. Sekrup diputar kembali

untuk membuka kunci dengan perlahan-lahan agar dapat mengeluarkan cetakan *press*, dan tuas ditekan kembali untuk mengeluarkan hasil pelet.

D. Karakterisasi dan Uji

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah FTIR, XRD dan uji fisis kadar air dan pengembangan tebal. Perbandingan sampel yang digunakan adalah 1: 0,7; 1: 0,8; dan 1: 0,9.

1. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Gugus fungsi silika aspal dianalisis menggunakan Nicolet iS10 FTIR *Spectrometer* pada rentang bilangan gelombang $4000-400\text{ cm}^{-1}$ dengan sampel berbentuk serbuk. Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil terhadap tabel bilangan gelombang dan gugus fungsi FTIR serta hasil penelitian-penelitian terdahulu.

2. *X-Ray Diffraction(XRD)*

Struktur silika aspal dikarakterisasi menggunakan X'Pert PRO PANalytical dengan radiasi Cu-K α yang dioperasikan pada 40 kV dan 30 mA dengan sampel berbentuk serbuk. *Step size* yang digunakan adalah $0,026^\circ$ pada rentang 2θ 5° hingga 100° . Perolehan data dianalisis dengan aplikasi Match XRD dan Grafik diplot dengan OriginLab versi 9.0.

3. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan pada SNI: 03-1971-1990 sebagai berikut:

- a. Cawan porselin ditimbang dan dicatat (m_1).

- b. Sampel dimasukkan ke dalam cawan porselin dan ditimbang massanya (m_2).
- c. Massa sampel basah dihitung dengan ($m_3 = m_2 - m_1$).
- d. Cawan porselin dikeringkan beserta sampel dalam oven dengan suhu 105 °C selama 3 jam.
- e. Setelah kering ditimbang dan dicatat cawan porselin beserta sampel (m_4)
- f. Massa sampel kering dihitung dengan ($m_5 = m_4 - m_1$)
- g. Kadar air sampel dihitung dengan Persamaan 2.2

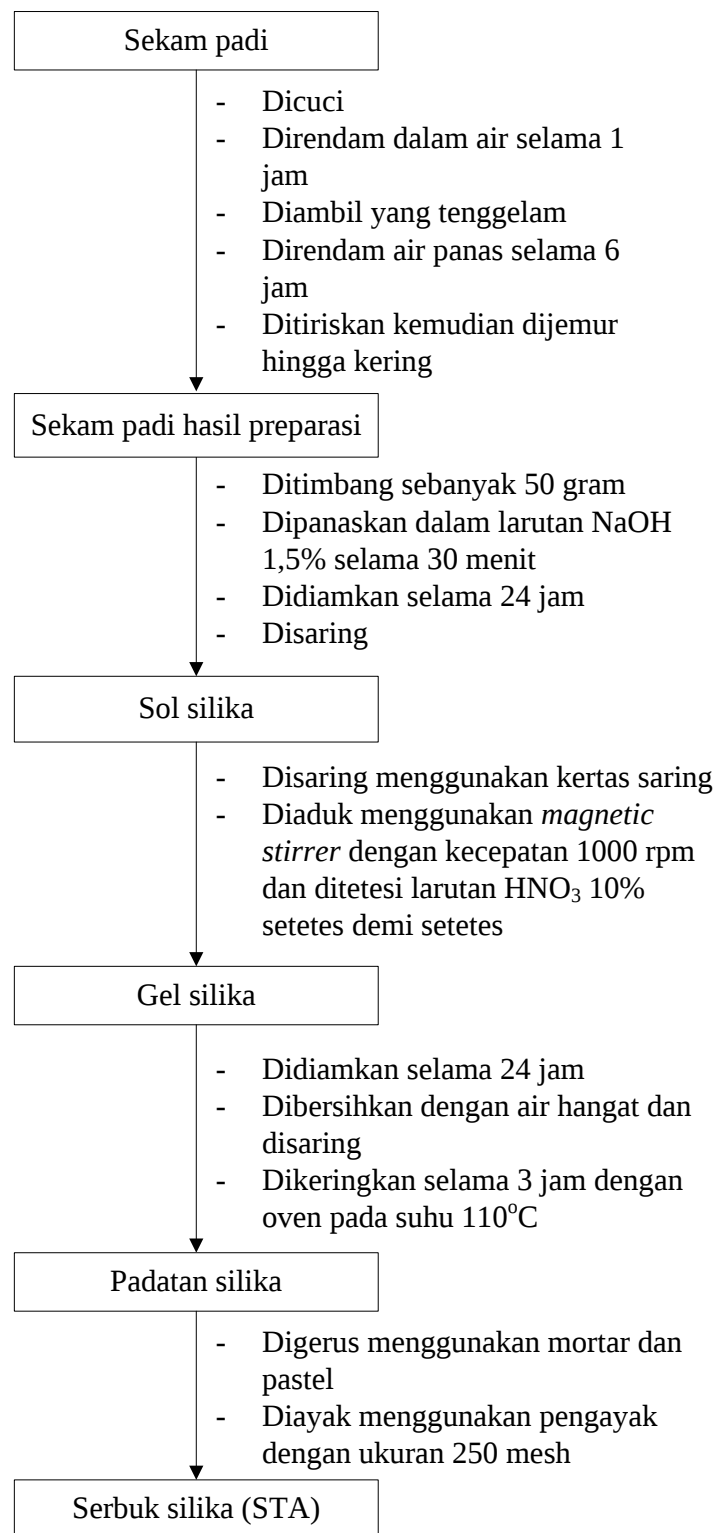
4. Pengujian Pengembangan Tebal

Uji pengembangan tebal dilakukan dengan menggunakan ketentuan berdasarkan SNI: 03-3205-2006 sebagai berikut:

- a. Sampel yang telah dipelet disiapkan terlebih dahulu.
- b. Ketebalan sampel diukur menggunakan mikrometer sekrup untuk menentukan tebal sampel awal (T_0).
- c. *Beaker glass* diisi dengan akuades sebanyak 35 mL, kemudian sampel dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan didiamkan selama 24 jam.
- d. Sampel dibersihkan dengan tisu kemudian diukur dengan menggunakan mikrometer sekrup untuk mengetahui tebal sampel setelah perendaman (T_1).
- e. Pengembangan tebal dihitung dengan persamaan 2.3.

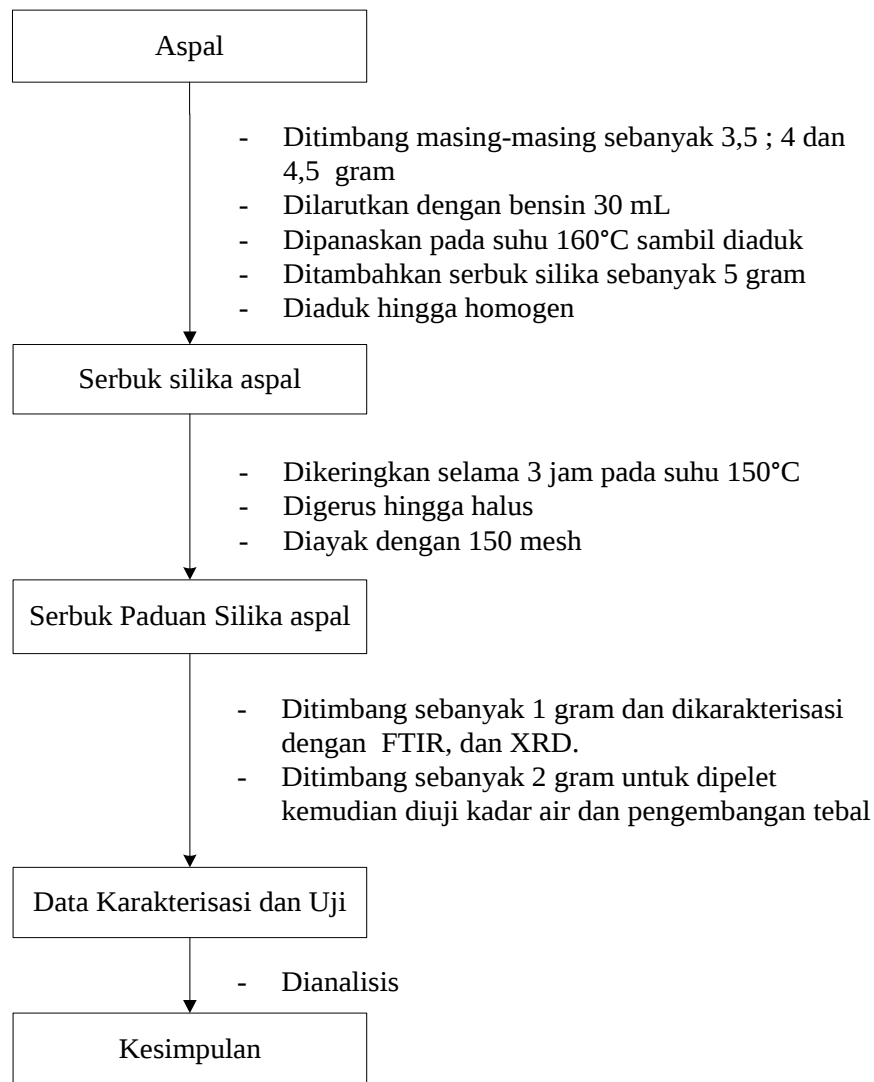
E. Diagram Alir

Pada penelitian ini terdapat terdapat dua diagram yaitu ekstraksi silika dari sekam padi dan pembuatan paduan sampel silika aspal. Untuk ekstraksi silika sekam padi ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir ekstraksi silika sekam padi.

Tahapan untuk pembuatan paduan silika aspal sekam padi ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2.Diagram alir pembuatan paduan silika aspal.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil karakterisasi FTIR pada sampel silika akibat penambahan aspal memiliki gugus fungsi ikatan Si – OH, Si – O – Si dan Si – O dan C – H. Namun seiring dengan penambahan aspal gugus fungsi Si – OH, Si – O – Si dan Si – O semakin melemah dan C – H semakin meningkat.
2. Hasil analisis struktur fasa pada sampel silika tanpa penambahan aspal dengan silika akibat penambahan aspal memiliki struktur amorf. Akibat dari penambahan aspal terjadinya pergeseran 2θ yaitu $2\theta = 22^\circ$ menjadi $2\theta = 20^\circ$ dan terdapat karbon.
3. Seiring dengan penambahan aspal menunjukkan nilai kadar air dan pengembangan tebal pada sampel semakin menurun.

B. Saran

Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk meneliti silika dan aspal dengan menggunakan variasi yang sama namun dengan metode pencampuran yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Abed, A. H., and Oudah, A. M. 2018. Rheological properties of modified asphalt binder withnanosilica and SBS. *Materials Science and Engineering*. Vol. 433. No. 1. Pp. 12-31.
- Adam, F., Ahmed, A. E., and Min, S. L. 2008. Silver modified porous silica from rice husk and its catalytic. *Journal Porous Materials*. Vol. 15. No. 4. Pp. 433-444.
- Ahmed, J., Al-Maamori, M., and Ali, H. 2015. Effect of nano silica on the mechanical properties of styrene butadiene rubber (SBR) composite. *International Journal Of Materials Science and Application*. Vol. 4. No. 47. Pp. 15-20.
- Ahmed, K., Nizami, S. S., Reza, N. Z., Kamaluddin, S., and Mahmood, K. 2013. An assessment of rice husk ash modified, marble sludge loaded natural rubber hybrid composites. *Journal Mater Wnviron*. Vol. 4. No. 2. Pp. 205-216.
- Airey, G. D. 2003. Rheological properties of styren butadien styrene polymer modified rood bitumens. *Journal Fuel*. Vol. 82. No. 14. Pp. 1709-1719.
- Aminullah, Roheti, E., and Irzaman. 2015. Reduction of high purity silicon from bamboo leaf as basic material in development of sensors manufacture in satellite technology. *Journal of Procedia Environmental Sciences*. Vol. 24. No. 8. Pp. 308-316.
- Anuar, M. F., Fen, Y. W., Mohd, Z. M. H., Matori, K. A., and Mohamed K. R. E. 2018. Synthesis and structural properties of coconut husk as potential silica source. *Results in Physic*. Vol. 11. Pp. 1-4.
- Aquina, H., Saleh, S. M., and Anggraini, R. Pengaruh substitusi styrofoam ke dalam aspal penetrasi 60/70 terhadap karakteristik campuran aspal porus. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 3. No. 3. Pp. 49-59.
- Awizar, D. A., Othman, N. K., Daud, A. R., Rahman, I. A., and Hardan, N. H. 2013. Nanosilicate exctraction from rice husk ash green corrosion inhibitor. *Internasional Journal Electrochem Sci*. Vol. 8. No. 2. Pp. 1759-1769.

- Azizi, S. N., and Yousefpour, M. 2010. Synthesis of zeolites naa and analcime using rice husk ash as silica source without using organic template. *Journal of Material Science*. Vol. 40. No. 20. Pp. 5692-5697.
- Bageshwaran, K., Kalaivani, R., Ashraf, S., Manikandan, G. N., and Prabhu, G. E. 2014. Production of silica from rice husk. *Internasional Journal of Chemistry Technologi Research*. Vol. 6. No. 9. Pp. 4337-4345
- Budiawati, L. 2019. Pengaruh penambahan silika sekam padi terhadap sifat fisik dan struktur fasa aspal. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Bakar, R. A., Yahyaa, R., and Seng, G. N. 2016. Production of high purity amorphous silica from rice husk. *Procedia Chemistry*. Vol. 19. No. Pp. 189-195.
- Beker Y, Mendez P. M., and Rodriguez Y. 2001. Polymer modified asphalt. *Vis Techlo*. Vol. 9. No. 1. Pp. 39-48.
- Chen, J. S., and Huang, C. C. 2006. Fundamental characterization of sbs modified asphalt with sulphur. *Journal Application Polymer Science*. Vol. 3. No. 5. Pp. 25-2817.
- Cullity, B. D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison Wesley Publishing Company, Inc. Washington DC.
- Costa, J. A and Paranhos, C. M. 2018. Systematic evaluation of amorphous silica production from rice husk ashes. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 5. No. 28. Pp. 1-25.
- Dominic C.D, M., Begum, P. S., Josep, R., and Oseph, D. 2013. Synthesis, characterization and appilcation of rice. *International Journal of Science, Environmen*. Vol. 2. No. 5. Pp. 1027-1035.
- Enieb, M., and Diab, A. 2017. Characteristics of asphalt binder and mixture containing nanosilica. *International Journal of Pavement Research and Technology*. Vol. 10. No. 2. Pp. 148-157
- Ezzat, H., El-Badawy, S., Babr, A., Zakri, E.-S. I., and Breakah, T. 2016. Evaluation of asphalt binders modified with nanoclay and nanosilica. *Procedia Engineering*. Vol. 143. Pp. 1260-1267.
- 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.
- Feinle, A., Elsaeser, M., and Husing, N. 2015. Sol gel synthesis of monolithic materials with hierrarchical porosity. *Journal of Chemistry Society Reviews*. Vol. 45. No. 12. Pp. 3377-3399.

- Fernandes, T. J., Sanchez, F., Jurado, J. R., Kielling, A. G., Rocha, T., and Moraes, C. 2017. Physical, chemical and electric characterization of thermally treated rice husk ash and its potensial application as ceramic raw materials. *Advanced Powder Technology*. Vol. 28. No. 4. Pp. 1228-1236.
- Geckil, T. 2019. Physical, chemical, microstructural and rheological properties of reactive terpolymer-modified bitumen. *Article Materials*. Vol. 12. No. 921. Pp. 1-21.
- Ghorbani, F., Sanati, A. M., and Maleki, M. 2015. Production of Silica Nanoparticles from Rice Husk as Agricultural. *Environmental Studies of Persian Gulf*. Vol. 2. No. 1. Pp. 56-65.
- Hainin, R. M., Maniruzzaman, A. A., Adnan, A. M., Hassan, N. A., Jaya, R. P., and Liu, H. Y. 2015. Performance of modified asphalt binder with tire rubber powder. *Journal Teknologi Sciences and Engineering*. Vol. 73. No. 4. Pp. 55-60.
- Handayani, P. A., Nurjanah, E., dan Rengga, W. D. 2015. Pemanfaatan limbahsekam padi menjadi silika gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. Vol. 3. No. 2. Pp. 55-59.
- Haslinawati, K. M., Matori, Z., Wahab, H., Zainal, and Sidek, A. 2009. Effect of temperature on ceramic from rice husk ash. *International Journal of Basic and Applied Sciences*. Vol. 9. No. 9. Pp. 1-4.
- Herrera G., Montoya, N., Domenech, C. and Alarcon J. 2013. Synthesis, characterization and electrochemical properties of iron-zirconia solid solution nanoparticles prepared using a sol-gel technique. *Journal Physical chemistry chemical physics*. Vol. 15. No. 44. Pp. 1-46
- Hildayati., Triwikantoro., Faisal, H., dan Sudirman. 2009. Sintesis dan karakterisasi bahan komposit karet alam-silika. *Seminar Nasional Pascasarjana IX*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Ho, S., Church, R., Klassen, K., Law, B., Mocleod, D., and Zanzatto, L. 2006. Study of recyled polyethylene materials as asphalt modifiers. *Canadian Journal Civil Engineering*. Vol. 33. No. 8. Pp. 968-981.
- Huang, Y., Bird, R. N., and Heidrich, O. A. 2007. Review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. *Resources Conservation Recycling*. Vol. 52. No. 1. Pp. 58-73.
- Iskandar, I. W. N., Setyawan, A., and Lego, S. J. 2016. Sifat-sifat marshall dan resilient modulus pada thin surfacing hot mix asphalt dengan polymer modified bitumen. *E-jurnal Matriks Teknik Sipil*. Vol. 3. Pp. 591-601.

- Isma, S. 2019. Karakteristik fungsional dan sifat fisis aspal akibat penambahan silika sekam padi. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Jezreel F, J., Saceda, and Rizalinda. de L, L. 2011. Properties of silica from rice husk and rice husk ash and their utilization for zeolitesynthesis. *International Year of Chemistry*. Vol. 34. No. 8. Pp. 1394-1397.
- Johan, E., Ogami, K., Matsue, N. Y., and Aono, H. 2016. Fabrication of high purity silica from rice husk ash and its conversion into zsm-5. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 11. No. 6. Pp. 4006-4010.
- Katsuki, H., Funita, S., Watari, T., and Komarneni, S. 2005. Zsm-5/ zeolit porous carbon composite synthesis from carbonized rice husk. *Journal Microporous and Mesoporous Materials*. Vol. 86. No. 1-3. Pp. 145-151.
- Khadijeh, B., Ghoreishi, and Mohd, A. Y. 2013. Sol-gel sulfated silica as a catalyst for glycerol acetylation with acetic acid. *Journal of Sciences and Technologi*. Vol. 5. No. 1. Pp. 65-78
- Kalapathy, U., Proctor, A., and Shultz, J. 2002. A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Bioresource Technology*. Vol. 73. Pp.257-262
- Khartikeyan, M. and Bindhu. 2018. Comparative study on bituminous concrete modified by nano silica and micro silica. *International Journal of Science Technology andEngineering*. Vol. 4. No. 10. Pp. 53-57.
- Kordatos, K., Gavela, S., Ntziouni, A., Pistiolas, K., Kyritsi, A., and Rigopoulou, V. K. 2008. Synthesis of highly siliceous ZSM-5 zeolite using silica from rice husk ash. *Microporous and Mesoporous Materials*. Vol. 115. No. 2. Pp. 189-196
- Kumer, D., Schumucher, K., and Unger, K. 2001. MCM-41, MCM-48 and related mesoporous adsorbents: the synthesis and characterization. *Journal Colloids and Surfaces a Physicochem, Eng Aspect*. Vol. 187. Pp. 109-116.
- Kurama, S., and Ozel, N. 2004. Synthesis and sintering of cordierite at low temperature from kaolinite and magnesium hydroxide. *JournalKey Engineering Materials*. Vol. 264. Pp. 925-928.
- Laili, C., Xiaoyan, M., and Paul, D. R. 2007. Morphology and properties of nanocomposites formed from ethylen-vinyl acetate copolymer and organo clay. *JournalPolymer Composites*. Vol. 25. No. 5. Pp. 535-542.
- Larsen, D. O., Alessandrini, J. L., Bosch, A., and Cortizo, M. S. 2009. Micro-structural and rheological characteristics of SBS-asphalt blends during their manufacturing. *JournalConstruction and Building Materials*. Vol. 23. No. 8. Pp. 2769-2774.

- Le, V. H., Thuc, C. N., and Thuch, H. H. 2013. Synthesis of silica nanoparticles from vietnamese rice husk by sol-gel method. *Journal Nanoscale Research Letters*. Vol. 8. No. 58. Pp. 1-10.
- Lei, J., Wang, L., and Zhang, J. 2010. Ratiometric pH sensor based on mesoporous silica nanoparticles and forster resonance energy transfer. *Journal of Chemis Communication*. Vol. 76. No. 44. Pp. 8447-8455.
- Liou, T., H. 2004. Preparation and characterization of nano-structured silica from rice husk. *Materials Science and Engineering*. Vol. 364. No. 1. Pp. 313–323.
- Majumder, C. B., Sharma, M., and Soni, G. 2014. A simple non-conventional method to extract amorphous silica from rice husk. *Journal Bioresource Technologi*. Vol. 35. Pp. 1-5.
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, M., and Darmint. 2013. Ekstraksi Dan Sintesis Nanosilika Berbasis Pasir Bancar Dengan Metode Basah. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*. Vol. 3. No. 2. Pp. 12-16.
- Matchi, I., Barboni, D., Meunier, J. D., Saadou, M., Dussouillez, P., Contoux, C., and Guede, N. Z. 2016. Intraspecific biogenic silica variations in the grass species *pennisetum pedicellatum* along an evapotranspiration gradient in south niger. *Journal of Flora*. Vol. 220. Pp. 84-93.
- Mohanraj, K., Kannan, S., Barathan, S., and Sivakumar, G. 2012. Preparation and characterization of nano SiO₂ cob ash by precipitation method. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Rapid Communications*. Vol. 6. No. 34. Pp. 394-397.
- Nandiyanto, A.B.D., Rahman, T., Fadhlullah, M.A., Abdullah, A.G., Hamidah, I., and Mulyanti, B. 2016. Synthesis of silica particles from rice straw waste using a simple extraction method. *Materials Science and Engineering*. Vol. 128. No. 1. Pp. 1-8.
- Naskar, M., Chaki, T. K., and Readdy, K. S. 2010. Effect of waste plastic as modified on thermal stability and degradation kinetics of bitumen waste plastic blend. *Journal Thermochim Acta*. Vol. 509. No. 1-2. Pp. 128-134.
- Nazari, H., Naderi, K., and Nejad, F. M. 2018. Improving aging resistance and fatigue performance of asphalt binders using inorganic nanoparticles. *Construction and Building Materials*. Vol. 170. Pp. 591–602.
- Nazzal, M. D., Kaya, S., and Guna, T. 2013. Fundamental characterization of asphalt clay. *Journal of Nanomechanics and Micromechanics*. Vol. 3. No. 1. Pp. 1-8.

- Nciri, N., Kim, N., and Cho, N. 2017. New insights into the effects of styrene-butadiene-styrene polymer modifier on the structure, properties, and performance of asphalt binder: The case of AP-5 asphalt and solvent deasphalting pitch. *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 193. Pp. 477-495.
- Nevivilanti, S., Wiranti, F. V., and Sembiring, S. 2011. Karakteristik keramik mullite dari silika sekam padi akibat perlakuan kalsinasi. *Prosiding Seminar Nasional Sains Mipa dan Aplikasinya*. FMIPAUNILA. Vol. 2. No. 2. Pp. 36-40.
- Nugroho, A.B. and Triono, L.B. 2006. *Sintesis partikel silika dengan metode spraydrying dari sol silika*. Institut Teknik Surabaya. Surabaya.
- Olufemi, A, S., Abiodu, O., Omajor., and Paul, F, A. 2012. Evaluation of Cement-Bonded Particle Board Produced from Afzelia Africana Wood Residues. *Journal of Engineering Science and Technology*. Vol. 7.No. 6. Pp. 732-743.
- Oui, Sae .P., Rakdee, C., and Thorn Thanma. 2002. Use of rice ash in filler in natural rubber vulcanizates in comparison with other commercial fillers. *Journal of Applied Polymer Sciences*. Vol. 83. No. 11. Pp. 2485-2493.
- Prastanto, H., Gfriadi, A., and Ramadhan, A. 2015. Karakteristik dan hasil uji marshall aspal termodifikasi dengan karet alam terdepolimerisasi sebagai aditif. *Jurnal Penelitian Karet*. Vol. 33. No. 1. Pp. 75-82.
- Purnawan, C., Martini, T., and Rini, P. I. 2018. Sintesis dan karakterisasi silika abu ampas tebu termodifikasi arginin sebagai adsorben ion logam Cu(ii). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*. Vol. 14. No. 2. Pp. 333-348.
- Patel, K.G., Misra, N. M., and Shettigar, R. R. 2016. Preparation and characterization of silica gel from. *International Journal Of Chemical Engineering And Applications*. Vol. 7. No. 5. Pp. 1-5.
- Read, John., Whiteoak, D., and Hunter, R.N. 2003. *The Shell Bitumen Hand Book*. Thomas Telford. London.
- Rida, M. A., and Harb, F. 2014. Synthesis and characterization of amorphous silica nanoparicles from aqueous using cationic surfactants. *Journal of Metals Materials and Minerals*. Vol. 24. No. 1. Pp. 37-42
- Riayanto, A., Ginting, O.M., and Sembiring, S. 2009. Pengaruh suhu sintering terhadap pembentukan gugus boroksilan (B-O-Si) bahan keramik borosilikat berbasis silika sekam padi. *Prosiding Seminar nasional Sains MIPA dan Aplikasinya*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Sembiring, S. 2008. Karakteristik keramik cordierite berbasis silika sekam padi pada temperatur rendah (low temperature). *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Sembiring, S., and Karo-karo, P. 2007. Pengaruh suhu sintering terhadap karakteristik termal dan mikrostruktur silika sekam padi. *Journal Sains MIPA*. Vol. 13. No. 3. Pp. 233-239.
- Sembiring, S., Simanjuntak, W., Manurung, P., Asmi, D., and Low, J. 2013. Synthesis and characterisation of gel-derived mullite precursors from rice husk silica. *Journal Ceramics International*. Vol. 40. No.5. Pp. 7067-7072.
- Sembiring, S., Situmeang, R., and Sembiring, Z. 2019. Synthesis and characterization of asphalt composite using amorphous rice husk silica. *Ceramics*. Vol. 65. No. 374. Pp. 194-199.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Muzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material prinsip dan Aplikasi dalam penelitian Kimia*. UPI PRESS. Bandung.
- Shahnania, M., Mohebbia, M., Mehdib, A., Ghassempour, A., Hassan, Y., and Enein, A. 2018. Silica microspheres from rice husk: A good opportunity for chromatography stationary phase. *Industrial Crops and Products*. Vol. 121. Pp. 236-240.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., Pandiangan, K. D., Syani, F., and Situmeang, R. T. M. 2016. The use of liquid smoke as a substitute for nitric acid for extraction of amorphous silica from rice husk through sol gel route. *Oriental Journal of Chemistry*. Vol. 32. No. 4. Pp. 2079-2085.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., and Sabayang, K. 2012. Effect of pyrolysis temperature on composition and electrical conductivity of carbosil prepared from rice husk. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol. 12. No. 1. Pp. 119-125.
- Smallman, R. E., and Bishop, R. J. 2000. *Matelurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Suka, I. G., Wasinton, S., Simon, S., and Evi, T. 2008. Karakterisasi silika sekam padi dari provinsi lampung yang diperoleh dengan metode ekstraksi. *Jurnal MIPA*. Vol. 37. No. 1. Pp. 47-52.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit. Bandung.
- Velmuragan, P., Shim, J., Lee, K. J., Cho, M., Lim, S. S., and Seo, S. K. 2015. Extraction charaction and calytic potensial of amorphous silica from corn cobs by sol gel method. *Journal of Industrial Engineering Chemistry*. Vol. 29. No. 6. Pp. 298-303.
- Winarno. 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia. Jakarta.

- Yang, Z., Dong, L., Wang, M., and Li, H. 2014. A study on a green route to preparation of silica powders with rice husk. *Advanced Materials Research*. Vol. 1010-1012. Pp. 1015-1019.
- Yang, J., and Tighe, S. 2013. A review of advances of nanotechnology in asphalt mixtures. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. Vol. 96. Pp. 1269-1276.
- Yalcin, N., and Sevinc, V. 2001. Studies on silica obtained from rice husk. *Ceramics International*. Vol.7. No. 2. Pp. 219-224.
- Yildirim, Y. 2007. Polymer modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*. Vol. No. 1. Pp. 66-72.
- Yao, H., You, Z., Li, L., Lee, C. H., Winggard, D., and Yap, Y. K. 2012. Rheological propertis and chemical bonding of asphalt modified with nanosilica. *Journal of Materials in Civil Engineering*. Vol. 25. No. 12. Pp. 327-337.
- You, Z., Beale, J. M., Foley, J. M., Roy, S., Odegard, G. M., Dai, Q., and Goh, S.W. 2011. Nanoclay-modified asphalt materials: preparation and characterization. *Journal Construction and Building Materials*. Vol. 25. No. 2. Pp. 1072-1078.
- Yuvakkumara, R., Elango, V., Rajendrana, V., and Kannan, N. 2012. High-purity nano silica powder from rice husk using a simple chemical method. *Journal of Experimental Nanoscience*. Vol. 9. No. 3. Pp. 1-10.
- Zhang, X., He, J.-X., Huang, G., Zhou, C., Feng, M.-M., and Li, Y. 2019. Preparation and characteristics of ethylene Bis(Stearamide)-Based Graphene-Modified Asphalt. *Journal Materials*. Vol. 12. No. 5. Pp. 757.