

**PENGARUH PENAMBAHAN SILIKA SEKAM PADI TERHADAP SIFAT  
FISIK DAN STRUKTUR FASA ASPAL**

(Skripsi)

Oleh

**Laili Budiawati**



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

## ABSTRAK

### PENGARUH PENAMBAHAN SILIKA SEKAM PADI TERHADAP SIFAT FISIK DAN STRUKTUR FASA ASPAL

Oleh

**Laili Budiawati**

Telah dilakukan pencampuran dan karakterisasi struktur fasa serta uji kadar air dan daya serap air aspal dengan penambahan silika pada perbandingan komposisi 1:1,8 ; 1:1,9 ; 1:2. Pencampuran menggunakan bahan aspal Esso pen 60/70 sedangkan bahan silika berasal dari sekam padi yang diekstraksi dengan metode *sol-gel* menggunakan larutan NaOH 1,5% dan HNO<sub>3</sub> 10%. Pencampuran aspal silika dilakukan menggunakan pelarut bensin dengan pemanasan pada suhu 100°C hingga aspal silika berbentuk serbuk. Pada penelitian ini hasil XRD menunjukkan fasa yang terbentuk pada aspal yaitu amorf dengan dua puncak *asphaltene* (002) dan (100), sementara puncak pada paduan silika aspal terdeteksi karbon amorf dan silika amorf dengan puncak *asphaltene* bergeser menjadi  $2\theta = 22^\circ$  dan tertutupi oleh silika. Hasil uji kadar air menunjukkan penambahan silika menyebabkan nilai kadar air sampel meningkat stabil pada perbandingan aspal silika 1:2 dengan kenaikan yang tidak terlalu signifikan. Kenaikan ini sebanding dengan nilai daya serap air pada sampel yang cukup stabil pada perbandingan 1:2.

Kata Kunci: Aspal, *Asphaltene*, Silika Sekam Padi, *Sol-gel*.

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF RICE HUSK SILICA ADDITION ON PHYSICAL PROPERTIES AND ASPHALT PHASE STRUCTURES**

**By**

**Laili Budiawati**

*Having been mixed and characterized of phase structures as well as moisture content and asphalt water absorption by adding silica to ratio of composition 1: 1.8; 1: 1,9; 1: 2. Mixing using Esso pen 60/70 asphalt material while silica material came from rice husk extracted by sol-gel method using 1.5% NaOH solution and 10% HNO<sub>3</sub>. The mixing of silica asphalt was carried out by using gasoline solvents by heating at 100°C temperature in the form of powdered silica. In this study the results of XRD showed that the formed phases on asphalt were amorphous with two asphaltene peaks (002) and (100), while amorphous and amorphous silica detected asphaltene peaks shifted to  $2\theta = 22^\circ$  and covered by silica. The water content test results showed that the addition of silica causing the value of the sample water content stably increase at a ratio of 1: 2 silica asphalt with insignificant increase . This increase was proportional to the value of water absorption in a sample that was quite stable at a ratio of 1: 2.*

*Keywords: Asphalt, Asphaltene, Rice Husk Silica, Sol-gel.*

**PENGARUH PENAMBAHAN SILIKA SEKAM PADI TERHADAP SIFAT  
FISIK DAN STRUKTUR FASA ASPAL**

Oleh

*LAILI BUDIAWATI*

**Skripsi**

Sebagai Salah Satu Syarat 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 : **Pengaruh Penambahan Silika Sekam Padi Terhadap Sifat Fisik dan Struktur Fasa Aspal**

Nama Mahasiswa : **Taifi Budiawati**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1417041045

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**MENYETUJUI,**

**1. Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

**Prof. Simon Sembiring, Ph.D.**  
NIP 19611003 199103 1 002

**Dr. Rudy T. M. Situmeang, M.Sc.**  
NIP 19600616 198811 1 001

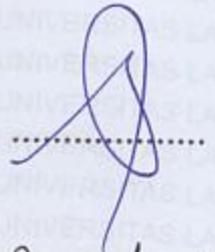
**2. Ketua Jurusan Fisika**

**Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.**  
NIP 19710909 200012 1 001

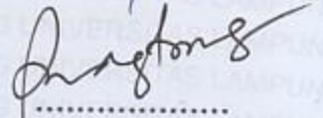
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

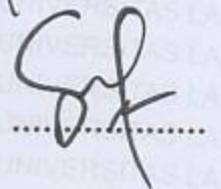
Ketua : **Prof. Simon Sembiring, Ph.D.**



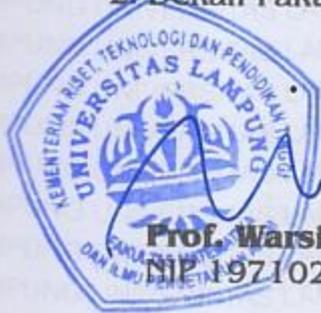
Sekretaris : **Dr. Rudy T. M. Situmeang, M.Sc.**



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.**



### 2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



  
**Prof. Warsito, S.Si., DEA, Ph.D.**  
NIP. 197102121995121001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **25 Januari 2019**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya orang lain yang sama persis. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis, kecuali yang diacu dalam naskah ini disebutkan dalam daftar pustaka. Saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, Januari 2019



Laili Budiawati  
NPM 1417041045

## RIWAYAT HIDUP



Penulis yang bernama lengkap Laili Budiawati, dilahirkan di Lampung Barat, pada tanggal 14 Juli 1996 dari pasangan Bapak Nur Budiman dan Ibu Asmawati sebagai anak kedua dari tiga bersaudara.

Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak di TK Darma Wanita pada tahun 2002, Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 01 Tribudisyukur pada tahun 2008, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 02 Sumberjaya pada tahun 2011, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 01 Sumberjaya pada tahun 2014. 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 Sains dan Teknologi. Penulis juga pernah menjadi asisten Praktikum Fisika Dasar I pada tahun 2015/2016, Praktikum Sains Dasar pada tahun 2015/2016, Praktikum Elektronika Dasar I dan II pada tahun 2016/2017, Praktikum Fisika Eksperimen pada tahun 2016/2017,

Praktikum Pemrograman Komputer pada tahun 2016/2017, Praktikum Optik pada tahun 2017/2018 dan Praktikum *Sol-gel* pada tahun 2017/2018 untuk mahasiswa Jurusan Fisika MIPA Universitas Lampung. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Loka Penelitian Teknologi Bersih (LPTB) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung pada tahun 2017 dengan judul “**Sintesis Katalis Pt/CNT dengan Penambahan Kitosan pada Suhu Pemanasan 60°C dan 80°C**”. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2017 di desa Sungai Langka, Gedong Tataan, Pesawaran.

## MOTTO

**“Bila kau tak tahan lelahnya belajar, maka kau harus tahan menanggung perihnya kebodohan”**

**(Imam Syafi’i)**

**“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu selesai (dari suatu urusan) kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain, dan hanya kepada Allah hendaknya kamu berharap”**

**(QS. Al insyirah: 6-8)**

**“Change yourself before you change the world. Be a better person before make a better world”**

**(Ridwan Kamil)**

## **PERSEMBAHAN**

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

**Ibu Terhebat Asmawati**  
dan  
**Bapak Tertangguh Nurbudiman**

**Kakak dan Adik Ku 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 seperjuanganku dan sahabat Fisika FMIPA UNILA angkatan 2014

Almamater Tercinta.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Silika Sekam Padi Terhadap Sifat Fisik dan Struktur Fasa 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 dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya agar lebih sempurna dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 25 Januari 2019

Penulis,

**Laili Budiawati**

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberi kesehatan, hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Silika Sekam Padi Terhadap Sifat Fisik dan Struktur Fasa Aspal”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtuaku Bapak Nur Budiman dan Mamah Asmawati yang selalu memberikan cinta kasih, dukungan, pengorbanan dan doa untuk penulis.
2. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D., selaku Pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, saran, motivasi, bantuan, serta nasehat dalam penelitian dan penyelesaian tugas akhir.
3. Bapak Rudy T. M. Situmeang, Ph.D., sebagai Pembimbing kedua yang memberikan masukan-masukan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Ibu Dr. Yanti Yuliyanti, M.Si., selaku Pembahas atas segala kritik dan saran yang sangat membangun dalam penulisan skripsi ini.
5. Bapak Arif Sutono, M. Si., M. Eng., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

6. Bapak Prof. Warsito, D.E.A., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si., selaku Pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan serta nasehat kepada penulis.
8. Segenap dosen dan staf di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Aa Hilman, Dek Opik, Teh Sinta Dias, Dek Desi, Dek Upi, A Heri serta keluarga besar atas segala dukungan, semangat dan doanya untuk penulis..
10. Endah, Mba Isma, Mba Warni, Mba Letia, Mba Lita, dan Mba Ayu sebagai tim seperjuangan dan diskusi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Sahabat Teh Inda Robihi Mardhiya, S.Si., dan Teh Ruri Mayang Nirwana, S.Tp., terimakasih untuk setiap ilmu, doa, motivasi, dukungan, dan kebersamaan yang telah diberikan kepada penulis.
12. Mamah Dudung, Papah Dudung, dan Dek Fitri sebagai keluarga keduaku yang telah memberi semangat, perhatian, serta dukungannya kepada penulis.
13. Mba Nindy, Mba Juni, dan Ika atas ilmu serta saran yang diberikan.
14. Teman-teman Fisika angkatan 2014 yang selama ini memberikan semangat.

Semoga Allah SWT membalas dengan hal yang lebih baik. Aamiin

Bandar Lampung, 25 Januari 2019

Penulis,

Laili Budiawati

## DAFTAR ISI

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

## II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Aspal .....	7
1. Jenis Aspal .....	8
2. Kandungan Aspal.....	10
3. Sifat Fisis Aspal.....	11
4. Aspal Modifikasi .....	13
B. Silika.....	15
1. Ekstraksi Silika Sekam Padi .....	16
2. Komposisi Silika .....	17
C. Proses Sol-Gel .....	17
D. Karakterisasi .....	18
1. XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	18
2. Kadar Air .....	25
3. Daya Serap.....	26

## III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	27
B. Alat dan Bahan .....	27
1. Alat .....	27
2. Bahan .....	28
C. Preparasi Sampel .....	28
1. Preparasi Sekam Padi .....	28
2. Ekstraksi Silika Sekam Padi .....	28
3. Pembuatan Paduan Aspal Silika .....	30
4. Pembuatan Pelet Paduan Aspal Silika.....	30
D. Karakterisasi .....	31
1. Karakteristik dengan XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	31
2. Pengujian Kadar Air .....	32
3. Pengujian Daya Serap .....	32
E. Diagram Alir .....	33

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penghantar .....	35
B. Preparasi dan Hasil Ekstraksi Silika Sekam Padi.....	36
C. Hasil Paduan Aspal Silika .....	38
D. Hasil Karakterisasi XRD (X-RD).....	40
1. Hasil Karakterisasi Aspal Murni .....	41
2. Hasil Karakteisasi Aspal dengan Penambahan Silika .....	43
E. Hasil Uji Fisis .....	45
1. Kadar Air .....	45
2. Daya Serap Air .....	47

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### DAFTAR PUSTAKA

### LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 1.</b> Tahapan Pembuatan Silika engan Metode Sol-Gel .....	18
<b>Gambar 2.</b> Skema Difraksi Sinar-X.....	20
<b>Gambar 3.</b> Difraktogram Sinar-X Aspal Alam.....	22
<b>Gambar 4.</b> Difraktogram Sinar-X Aspal Murni .....	23
<b>Gambar 5.</b> Difraktogram Sampel Karbosil pada Suhu Pirolisis (a) 200 °C (b) 400 °C (c) 700 °C .....	24
<b>Gambar 6.</b> Diagram Alir Preparasi dan Ekstraksi Silika Sekam Padi .....	33
<b>Gambar 7.</b> Diagram Alir Pembuatan Paduan Aspal Silika.....	34
<b>Gambar 8.</b> Diagram Alir Pembuatan Sampel dan Karakterisasi Paduan Aspal Silika .....	34
<b>Gambar 9.</b> (a) Sol ilika, (b) gel silika .....	36
<b>Gambar 10.</b> Gel Setelah Dicuci .....	37
<b>Gambar 11.</b> Serbuk Silika Hasil Ekstraksi .....	38
<b>Gambar 12.</b> Sampel Paduan Aspal Silika Serbuk.....	39
<b>Gambar 13.</b> Pelet paduan aspal silika .....	39
<b>Gambar 14.</b> Difraktogram XRD aspal.....	40
<b>Gambar 15.</b> Difraktogram XRD aspal dan sampel A1, A2, A3 .....	42
<b>Gambar 16.</b> Hasil uji kadar air.....	45
<b>Gambar 17.</b> Hasil uji daya serap air .....	47

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 1.</b> Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70.....	13
<b>Tabel 2.</b> Karakteristik Silika.....	15
<b>Tabel 3.</b> Bentuk Kristal Utama Silika .....	16
<b>Tabel 4.</b> Komposisi Kimia Sekam Padi.....	17
<b>Tabel 5.</b> Komposisi Massa Aspal dan Silika .....	39
<b>Tabel 6.</b> Hasil Uji Kadar Air .....	45
<b>Tabel 7.</b> Hasil Uji Daya Serap Air.....	47

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Ilmu pengetahuan dan teknologi yang terus maju, menuntut para ilmuwan untuk menciptakan maupun mengembangkan suatu produk penelitian yang telah ada ataupun yang baru namun bermanfaat bagi kehidupan masyarakat. Di samping itu, inovasi teknologi telah banyak dilakukan di bidang material yang terus berkembang salah satunya modifikasi aspal. Aspal sebagai material perekat, berwarna hitam atau coklat tua dengan unsur utama bitumen. Unsur-unsur yang terkandung dalam bitumen adalah karbon (82-88%), hidrogen (8-11%), sulfur (0-6%), oksigen (0-1,5%), dan nitrogen (0-1%) (Atherton, 1987; Yildirim, 2007).

Aspal dihasilkan dari minyak mentah yang dipilih melalui proses destilasi minyak bumi. Proses penyulingan ini dilakukan dengan pemanasan hingga suhu 350°C di bawah tekanan atmosfer untuk memisahkan fraksi-fraksi ringan, seperti *gasoline* (bensin), *kerosene* (minyak tanah), dan *gas oil* (Wignall, 1999). Pada temperatur ruang aspal berbentuk padat dan bersifat termoplastis. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal campuran. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada

tempatnyanya. Karena itulah aspal disebut bersifat termoplastis (Sukirman, 2003). Penggunaan aspal sebagai bahan pengikat sudah digunakan secara luas, namun proses pembuatan bahan aspal itu sendiri membutuhkan investasi yang sangat besar sehingga harga aspal menjadi mahal dan selain itu ketersediaan di alam juga terbatas dan suatu saat akan menjadi langka. Berbagai penelitian masih terus dilakukan untuk mencari bahan tambah lain sebagai upaya meningkatkan kinerja aspal.

Beberapa bahan tambahan yang pernah dikaji untuk digunakan dalam campuran aspal antara lain adalah karet padat (Darunifah, 2007), serat serabut kelapa (Linggo dan Purnamasari, 2007), Abu ampas tebu (Sari, 2006), *Styrofoam* (Aquina dkk., 2014), *plastic low linear density poly ethylene* (LLDPE) (Diansari, 2016), ban bekas (Indriyati dan Susanto, 2015), penggunaan bahan tersebut pada proporsi tertentu secara garis besar menghasilkan peningkatan kualitas aspal. Salah satu bahan unggul lain yang dapat digunakan sebagai bahan campuran aspal adalah serbuk silika (Enieb and Diab, 2017).

Silika dapat meningkatkan kinerja anti-penuaan, kinerja retak lelah, ketahanan *rutting*, dan properti anti pengupasan dari pengikat aspal (Yang and Tighe, 2013). Studi literatur menunjukkan bahwa ketika 1% hingga 2% silika *fume* ditambahkan ke aspal semen, penetrasi menurun, titik pelunakan meningkat, pemulihan regangan elastis meningkat dan suhu kerentanan meningkat baik (Sarsam, 2015). Sarsam (2013) menemukan bahwa penambahan silika *fume* dari 1% hingga 4% meningkatkan viskositas dan titik pelunakan aspal secara signifikan, tetapi menurunkan nilai penetrasi. Mojtaba *et al.*, (2012) melaporkan peningkatan perilaku mekanik ketika 2% nano-SiO<sub>2</sub> bersama dengan 5% Styrene-

Butadiene-Styrene (SBS) ditambahkan ke campuran aspal. Oleh karena itu, pencampuran aspal dengan silika menjadi bidang penelitian yang diminati untuk dikaji secara lebih mendalam.

Sekam padi sebagai limbah yang berlimpah khususnya di negara agraris, merupakan salah satu sumber penghasil silika terbesar. Sekam padi mengandung silika sebanyak 87%-97% berat kering setelah mengalami pembakaran sempurna. Selain didukung oleh jumlah yang melimpah, silika sekam padi dapat diperoleh dengan sangat mudah dan biaya yang relatif murah, yakni dengan cara ekstraksi alkalis (Kalapathy *et al.*, 2000). Metode ekstraksi didasarkan pada tingginya kelarutan silika amorf dalam larutan alkalis seperti KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, atau NaOH, dan pengendapan silika terlarut menggunakan asam, seperti asam klorida, asam sitrat, asam asetat, dan asam oksalat.

Berdasarkan penjelasan dari penelitian yang telah dipaparkan tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan suatu proses paduan aspal dan silika sekam padi untuk mengetahui perubahan karakteristik struktur fasa serta mengamati sifat fisis (kadar air dan daya serap air) akibat penambahan silika sekam padi terhadap aspal. Proses pembuatan silika dilakukan dengan menggunakan metode *sol-gel* dimana bahan yang digunakan untuk media ekstraksi adalah natrium hidroksida (NaOH) 1,5% dan pengendapan silika terlarut digunakan bahan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) 10%. Hasil akhir dari proses tersebut berbentuk serbuk silika yang akan dicampurkan dengan material aspal Esso pen 60/70 Singapura. Pada penelitian ini dilakukan analisis sifat fisis meliputi pengukuran kadar air dan daya serap air, serta analisis struktur kristalografi dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*).

## **B. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan silika sekam padi terhadap karakteristik struktur fasa pada aspal ?
2. Bagaimana nilai sifat fisis (kadar air dan daya serap air) pada aspal akibat penambahan silika sekam padi ?

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh penambahan silika sekam padi terhadap karakteristik struktur fasa pada aspal.
2. Mengetahui nilai kadar air dan daya serap air pada aspal akibat penambahan silika sekam padi.

## **D. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Silika yang digunakan adalah silika berbasis sekam padi yang diekstraksi menggunakan metode sol-gel dengan natrium hidroksida (NaOH) 1.5 % dan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) 10%.
2. Variasi perbandingan kadar silika pada aspal adalah 1:1,8 ; 1:1,9 ; 1:2.
3. Analisis yang dilakukan meliputi perhitungan daya serap air, kadar air, serta struktur fasa dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*).

## **E. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai:

1. Menambah pengetahuan bagi penulis dalam studi pengaruh penambahan silika sekam padi terhadap sifat fisis (daya serap dan kadar air) dan struktur fasa.
2. Bahan referensi dalam hal paduan aspal dengan bahan baku utama silika sekam padi yang diekstraksi dengan menggunakan metode *sol-gel*.
3. Sebagai bahan acuan dalam studi pengaruh penambahan silika sekam padi terhadap sifat fisis (daya serap dan kadar air) dan struktur fasa pada aspal.

## **F. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan pada penelitian ini yaitu

### **BAB I PENDAHULUAN**

Menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat *penelitian* dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Memaparkan informasi ilmiah tentang aspal, silika sekam padi, paduan aspal dan silika, metode *sol-gel*, XRD (X-Ray Diffraction), dan uji sifat fisis (Daya serap dan kadar air).

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Menjelaskan waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, prosedur penelitian, serta diagram alir penelitian.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menjelaskan tentang analisis dan pembahasan hasil karakteristik struktur fasa dengan XRD, hasil uji fisis (daya serap dan kadar air) dengan variasi perbandingan kadar aspal dan silika 1:1,8 ; 1:1,9 ; 1:2.

## BAB V KESIMPULAN

Menjelaskan tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh berdasarkan hasil dari *seluruh* tahapan penelitian yang telah dilakukan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun juga merupakan hasil residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal merupakan material yang umum digunakan untuk bahan pengikat agregat, oleh karena itu seringkali bitumen disebut pula sebagai aspal. Pada suhu ruang, aspal adalah material yang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Sifat termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur. Kepekaan terhadap temperatur dari setiap jenis aspal berbeda-beda, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspalnya, walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu (Sukirman, 2003).

Aspal dikenal sebagai bahan atau material yang bersifat viskos atau padat, yang mempunyai daya lekat (*adhesif*), mengandung bagian-bagian utama yaitu hidrokarbon yang dihasilkan dari minyak bumi atau kejadian alami (*aspal alam*) dan terlarut dalam karbondisulfida. Aspal sendiri dihasilkan dari minyak mentah yang dipilih melalui proses destilasi minyak bumi. Proses penyulingan ini dilakukan dengan pemanasan hingga temperatur 350°C dibawah tekanan atmosfer

untuk memisahkan fraksi-fraksi ringan, seperti gasoline (bensin), kerosene (minyak tanah), dan gas oil (Wignall, 1999).

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan pengikat dan bahan pengisi. Sebagai bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal. Sebagai bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri. Untuk dapat memenuhi fungsi aspal tersebut dengan baik, maka aspal haruslah memiliki sifat adhesi dan kohesi yang baik, serta pada saat dilaksanakan mempunyai tingkat kekentalan tertentu (Arifin dkk., 2008).

## **1. Jenis Aspal**

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibeda-bedakan atas aspal alam dan aspal buatan (minyak). Aspal alam yaitu aspal yang didapat di suatu tempat di alam, dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal minyak adalah aspal yang didapat dari hasil pengilangan minyak bumi.

### **a. Aspal Alam**

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau terdapat di Trinidad, berupa aspal danau (Trinidad Lake Asphalt). Aspal alam terbentuk perlahan-lahan dari fraksionasi alami minyak bumi di dekat minyak bumi. Aspal alam disebabkan adanya pengaruh tektonik terhadap minyak bumi yang diduga semula terkandung dalam batuan induk kemudian bermigrasi melalui dasar dan mengimpregnasi batuan sekitarnya, yaitu batu gamping dan batu pasir. Material aspal membentuk suatu

danau yang mengisi pori-pori, celah batuan, atau deposit yang mengandung campuran aspal alam dan bahan mineral dalam berbagai porsi.

#### b. Aspal Buatan (Aspal Minyak)

Aspal buatan adalah bitumen yang merupakan jenis aspal hasil penyulingan minyak bumi yang mempunyai *paraffin* yang rendah dan biasa disebut *paraffin base crude oil*. Minyak bumi banyak mengandung gugusan aromatik dan siklik sehingga kadar aspalnya tinggi dan kadar *paraffin* rendah. Aspal buatan terdiri dari berbagai bentuk yaitu padat, cair, dan emulsi.

##### 1. Aspal Padat

Aspal padat atau bitumen merupakan hasil penyulingan minyak bumi yang kemudian disuling sekali lagi pada suhu yang sama tetapi dengan tekanan rendah (hampa udara), sehingga dihasilkan bitumen yang disebut dengan *straightrun bitumen*.

##### 2. Aspal Cair

Aspal cair adalah aspal keras yang dicampur dengan pelarut. Jenis aspal cair tergantung dari jenis pengencer yang digunakan untuk mencampur aspal keras tersebut.

##### 3. Ter

*Ter* adalah istilah umum cairan yang diperoleh dari mineral organik seperti kayu atau batu-bara melalui proses pemijaran atau destilasi pada suhu tinggi tanpa zat

asam. Sedangkan untuk konstruksi jalan dipergunakan hanya *ter* yang berasal dari batu-bara, karena *ter* kayu sangat sedikit jumlahnya (Wahyudi, 2002).

## 2. Kandungan Aspal

Aspal pada umumnya berbentuk koloid terdiri dari hidrokarbon dengan sedikit kandungan sulfur, oksigen, nitrogen dan unsur kimia lainnya. Kandungan unsur kimia tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis aspal dan proses pembuatannya. Namun, pada umumnya variasi komposisi unsur tersebut dalam aspal adalah karbon 80-87%, Sulfur 0,5-7%, Oksigen 2-8% , hidrogen 9-11%, Nitrogen 0-1%, serta unsur lainnya 0-0,5% (Atherton, 1987). Aspal sebagai bahan pengikat pada aspal campuran panas, mempunyai sifat fisik yang ditentukan oleh komposisi kimia. Unsur hidrokarbon yang sangat kompleks, sangat sukar untuk memisahkan molekul-molekul yang membentuk aspal tersebut. Disamping itu setiap sumber dari minyak bumi menghasilkan komposisi molekul yang berbeda. Komposisi dari aspal terdiri dari *Asphaltene* dan Maltene. Berikut sifat-sifat senyawa penyusun dari aspal :

### a. *Asphaltene*

*Asphaltene* merupakan unsur kimia aspal yang padat berwarna hitam atau coklat tua dan tidak larut dalam n-heptan. *Asphaltene* mengandung karbon dan hidrogen dengan perbandingan 1 : 1. Molekul *asphaltene* memiliki ukuran 5-30 nano meter. Selain itu *asphaltene* merupakan komponen yang paling rumit diantara komponen penyusun aspal yang lainnya karena ikatan/hubungan antar atomnya sangat kuat. *Asphaltene* juga sangat berpengaruh dalam menentukan sifat reologi bitumen, dimana semakin tinggi *asphaltene*, maka bitumen akan semakin keras dan

semakin kental, sehingga titik lelehnya akan semakin tinggi, dan menyebabkan harga penetrasinya semakin rendah.

b. Maltene

Maltene adalah unsur kimia yang terdapat di aspal selain *asphaltene*. Unsur maltene dapat dibagi lagi menjadi *resin*, *aromatis*, dan *saturate*. Di dalam aspal *resin* berfungsi sebagai zat pendispersi *asphaltene*. Sifat aspal sangat ditentukan oleh proporsi kandungan *resin* didalam *asphaltene* yang terdapat di dalam aspal tersebut. *Aromatis*, adalah unsur pelarut *asphaltene* yang paling dominan di dalam aspal. *Aromatis* terdiri dari rantai karbon yang bersifat non-polar yang didominasi oleh unsur tak jenuh dan memiliki daya larut yang tinggi terhadap molekul hidrokarbon. *Saturate*, adalah bagian molekul maltene yang berupa minyak kental yang berwarna putih atau kekuning-kuningan yang bersifat non-polar.

### 3. Sifat Fisis Aspal

Sifat fisik aspal sangat berpengaruh terhadap perencanaan, produksi, dan kinerja campuran beraspal antara lain adalah :

- a. Durabilitas, kemampuan aspal untuk menghambat laju penuaan disebut durabilitas aspal.
- b. Adhesi dan kohesi, adhesi adalah kemampuan aspal untuk melekat satu sama lainnya, dan kohesi adalah kemampuan aspal untuk melekat dan mengikat agregat. Sifat adhesi dan kohesi sangat berpengaruh terhadap kinerja dan durabilitas campuran.
- c. Kepekaan aspal terhadap temperatur, pengetahuan tentang kepekaan aspal terhadap temperatur sangat penting dalam pembuatan campuran dan

perkerasan beraspal. Pengetahuan ini berguna untuk mengetahui pada temperatur berapa aspal dan agregat dapat dicampur dan dipadatkan.

- d. Pengerasan dan penuaan, penuaan aspal disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (Penuaan jangka panjang dan jangka pendek). Dua faktor utama penuaan tersebut menyebabkan terjadinya pengerasan pada aspal dan akan meningkatkan kekakuan campuran beraspal sehingga akan mempengaruhi kinerja campuran beraspal. Peningkatan kekakuan tersebut akan meningkatkan ketahanan campuran beraspal terhadap deformasi permanen dan kemampuan menyebarkan beban, tetapi kekakuan juga mengakibatkan campuran beraspal menjadi lebih getas sehingga akan cepat retak (Permana, 2009).

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal padat atau keras dengan penetrasi 60/70 dan mempunyai nilai karakteristik yang telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan Bina Marga. Untuk lebih jelasnya berikut ditampilkan pada Tabel 1 persyaratan aspal keras penetrasi 60/70 sesuai dengan Revisi SNI 03-1737-1989.

**Tabel 1.** Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70.

No.	Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan
1.	Penetrasi, 25°C; 100 gr; 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60-79
2.	Titik lembek, °C	SNI 06-2434-1991	48-58
3.	Titik nyala, °C	SNI 06-2433-1991	min. 200
4.	Daktalitas, 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	min. 100
5.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	min. 1,0
6.	kelarutan dalam trichlor ethylen, % berat	RS NI M -04-2004	min. 99
7.	Penurunan berat (dengan TFOT), % berat	SNI 06-2440-1991	min. 0,8
8.	Penetrasi setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2456-1991	min. 54
9.	Daktalitas setelah penurunan berat, % asli	SNI 06-2432-1991	min. 50
10.	Uji noda aspal c. Standar naptha d. Naptha xylene e. Hephtane xylene	SNI 03-6885-2002	Negatif

(Departemen Pekerjaan Umum, 1987)

#### 4. Aspal Modifikasi

Penggunaan aspal sebagai bahan pengikat sudah digunakan secara luas, namun proses pembuatan bahan aspal itu sendiri membutuhkan investasi yang sangat besar sehingga harga aspal menjadi mahal dan selain itu ketersediaan di alam juga terbatas dan suatu saat akan menjadi langka. Berbagai penelitian mengenai modifikasi aspal masih terus dilakukan untuk mencari bahan tambah lain sebagai upaya meningkatkan kinerja aspal.

Aspal polimer adalah suatu material yang dihasilkan dari modifikasi antara polimer alam atau polimer sintesis dengan aspal. Modifikasi aspal polimer telah dikembangkan selama beberapa dekade terakhir. Pada praktek perkerasan jalan, aspal termodifikasi polimer merupakan salah satu jenis formula aspal dengan penambahan polimer untuk mendapatkan sifat perkerasan yang lebih baik, yaitu mengurangi deformasi pada perkerasan, meningkatkan ketahanan terhadap retak dan kelekatan pada agregat (Prastanto dkk., 2015).

Penggunaan campuran polimer aspal merupakan modifikasi yang semakin meningkat tidak hanya karena faktor ekonomi, tetapi juga demi mendapatkan kualitas aspal yang lebih baik dan tahan lama. Modifikasi polimer aspal yang diperoleh dari interaksi antara komponen aspal dengan bahan aditif polimer dapat meningkatkan sifat-sifat dari aspal tersebut. Dalam hal ini terlihat bahwa keterpaduan aditif polimer yang sesuai dengan campuran aspal. Penggunaan polimer sebagai bahan untuk memodifikasi aspal terus berkembang di dalam dekade terakhir.

Gonzales *et al.* (2012) telah melakukan penelitian tentang pengolahan modifikasi bitumen dengan karet ban remah dan zat polimer tambahan. Dimana hasil yang didapatkan bahwa semua zat polimer tambahan yang digunakan berhasil meningkatkan sifat reologi pada bahan pengikatnya. Dalam waktu pengerjaan 2 – 3 jam dapat menyebabkan peningkatan kekuatan pada bitumen dan bertambahnya keelastisan dari karet ban remah yang digunakan. Beberapa bahan polimer lainnya yang pernah dikaji untuk digunakan dalam campuran aspal antara lain adalah karet padat (Darunifah, 2007), serat serabut kelapa (Linggo dan Purnamasari, 2007), Abu ampas tebu (Sari, 2006), *Styrofoam* (Aquina dkk., 2014), *plastic low linear density poly ethylene* (LLDPE) (Diansari, 2016), ban bekas (Indriyati dan Susanto, 2015), penggunaan bahan tersebut pada proporsi tertentu secara garis besar menghasilkan peningkatan kualitas aspal.

Salah satu bahan unggul lain yang dapat digunakan sebagai bahan campuran aspal adalah serbuk silika (Enieb and Diab, 2017). Silika dapat meningkatkan kinerja anti-penuaan, kinerja retak lelah, ketahanan *rutting*, dan properti anti pengupasan dari pengikat aspal (Yang and Tighe, 2013). Studi literatur menunjukkan bahwa

ketika 1% hingga 2% silika *fume* ditambahkan ke aspal semen, penetrasi menurun, daktilitas berkurang, titik pelunakan meningkat, pemulihan regangan elastis meningkat dan suhu kerentanan meningkat baik (Sarsam, 2015).

## B. Silika

Silika merupakan material yang tersedia di alam dan secara kuantitatif memiliki jumlah yang banyak. Silika merupakan salah satu senyawa oksida dengan rumus kimia  $\text{SiO}_2$  dimana senyawa ini memiliki daya tahan terhadap temperatur, stabilitas termal yang tinggi dan daya tahan kimia baik terhadap berbagai jenis asam seperti (asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), asam klorida ( $\text{HCl}$ )) juga basa seperti (natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), kalium hidroksida ( $\text{KOH}$ )) (Katsuki, 2005). Silika biasanya diperoleh melalui proses penambangan yang di mulai dari menambang pasir kuarsa sebagai bahan baku. Selain itu, silika juga banyak terkandung pada sekam padi yang diekstraksi. Karakteristik dari silika ( $\text{SiO}_2$ ) dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Karakteristik silika (Surdia dan Saito, 2000)

Nama Lain	Silikon Dioksida
Rumus Molekul	$\text{SiO}_2$
Berat Jenis ( $\text{gr/cm}^3$ )	2.6
Bentuk	Padat
Daya Larut Dalam Air	Tidak Larut
Titik Cair ( $^{\circ}\text{C}$ )	1610
Titik Didih ( $^{\circ}\text{C}$ )	2230
Kekerasan (Mohs)	650
Struktur Kristal	Kristobalit, Tridimit, dan Kuarsa

Perbedaan ketiga kristal ini dapat terlihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Bentuk kristal utama silika (Smallman, 2000)

Bentuk	Rentang Stabilitas (°C)	Perubahan	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
Kristobalit	1470 – 1723	- (kubik)	2,21
		- (tetragonal)	2,23
Tridimit	870 – 1740	-	-
		- (heksagonal)	2,30
		-(orthorombik)	2,27
Kuarsa	< 870	- (heksagonal)	2,60
		-(trigonal)	2,65

### 1. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Proses untuk memperoleh silika sekam padi dapat dilakukan dengan cara yaitu dengan metode alkalis dan pengabuan. Metode alkalis didasarkan pada kelarutan silika amorf yang besar pada larutan alkalis dan pengendapan silika terlarut dalam asam dan basa. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Daifullah dkk, 2003; Daifullah dkk, 2004; Cheng and Chang, 1991; Riveros and Garza, 1986) menyimpulkan bahwa silika sekam padi dapat diperoleh dalam bentuk amorf dengan menggunakan larutan kalium hidroksida (KOH) 5% pada pH optimum 7 atau bersifat netral dan diendapkan menggunakan larutan HCl 10%. Selain kalium hidroksida (KOH) dan asam klorida (HCl), silika (SiO<sub>2</sub>) dapat diperoleh dengan larutan alkalis seperti natrium hidroksil (NH<sub>4</sub>OH), natrium hidroksida (NaOH) (Della dkk, 2002) dan pengendapan silika terlarut menggunakan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan asam oksalat (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) (Kalapathy *et al.*, 2000).

## 2. Komposisi Silika

Sekam padi memiliki beberapa unsur organik seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selain itu, sekam padi juga mengandung unsur anorganik, berupa abu dengan kandungan utamanya adalah silika sebesar 94-96%. Serta terdapat komponen lain seperti kalium, kalsium, besi, fosfat, dan magnesium (Hsu and Luh, 1980). Komposisi unsur kimia dari sekam padi dapat dilihat pada Tabel 4. berikut:

**Tabel 4.** Komposisi Kimia Sekam Padi (Kurama and Kurama, 2006)

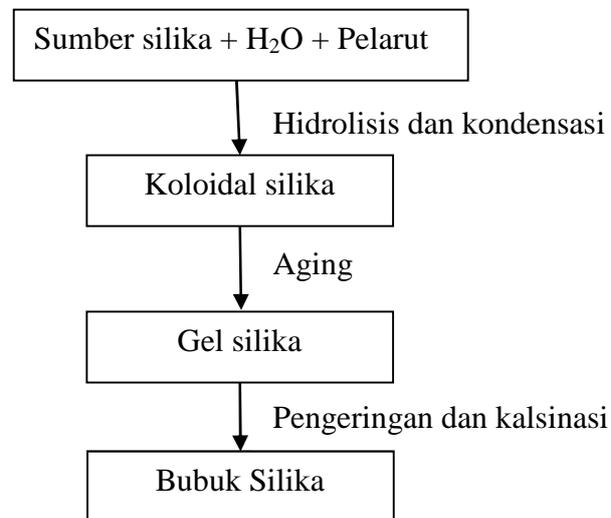
Senyawa Oksida	Persentase (%)
SiO <sub>2</sub>	95,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04
CaO	0,09
MgO	0,08
K <sub>2</sub> O	0,17

### C. Proses Sol-Gel

Proses sol gel dapat digunakan untuk menyintesis suatu material anorganik, misalnya keramik dan gelas. Sol merupakan suspensi partikel koloid dalam suatu cairan atau larutan polimer. Sedangkan gel adalah suatu massa yang setengah kaku yang terbentuk ketika partikel koloid dihubungkan oleh gaya permukaan untuk membentuk jaringan. Pembuatan silika (SiO<sub>2</sub>) juga merupakan salah satu sintesis bahan yang menggunakan metode sol-gel, dalam pembuatannya temperatur sintering yang dibutuhkan untuk membentuk silika secara umum pada

koloid gel adalah antara 800 - 1000°C dan 1200 - 1500°C (Rahaman, 1995).

Tahapan dalam metode sol-gel dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tahapan Pembuatan Silika dengan Metode Sol-Gel (Rahman, 2012).

Proses ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya; konsentrasi dan tipe prekursor yang digunakan, temperatur, bentuk geometri, dan ukuran bejana serta ada atau tidaknya proses pengadukan. Keuntungan proses sol-gel ini dapat menghasilkan material yang memiliki homogenitas dan kemurniaan yang tinggi dibanding material dengan metode yang lainnya (Sembiring, 2014).

## D. Karakterisasi

### 1. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895, di universitas Wurtzburg, Jerman. Untuk penemuan ini Rontgen mendapat hadiah nobel pada tahun 1901, yang merupakan hadiah nobel pertama di bidang fisika. Satuan panjang gelombang sinar-X adalah Å, sama dengan  $10^{-8}$  cm. Sinar-X yang digunakan dalam difraksi memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai

dengan  $2,5 \text{ \AA}$ . Sementara itu, panjang gelombang cahaya tampak diketahui berada dalam orde  $6000 \text{ \AA}$ . Sinar-X menempati wilayah antara sinar gamma dan ultraviolet dalam spektrum elektromagnetik (Cullity, 1978).

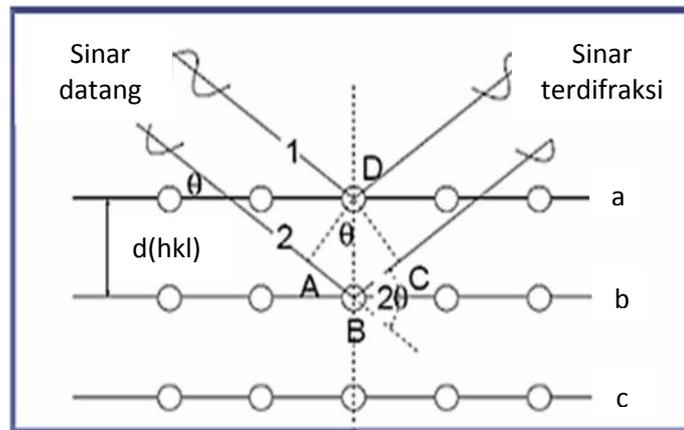
#### a. Prinsip Kerja XRD

Teknik *X-Ray Diffraction* (XRD) berperan penting dalam proses analisis padatan kristalin. XRD adalah metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu, juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal. Panjang gelombang sinar-X ini merupakan dasar digunakannya teknik difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur mikroskopis suatu bahan (Smallman, 2000).

Sinar-X dihasilkan apabila elektron-elektron dengan laju tinggi menumbuk suatu bahan. Teknik difraksi sinar-x dapat digunakan untuk analisis struktur kristal, karena setiap unsur atau senyawa mempunyai pola yang sudah tertentu. Apabila dalam analisis ini pola difraksi unsur diketahui maka unsur tersebut dapat ditentukan. Identifikasi fasa dapat dilakukan dengan metode search-match (pencocokan) dengan membandingkan sudut difraksi ( $2\theta$ ) dan jarak antar atom ( $d$ ) pengukuran dengan data standar (Sembiring dan Simanjuntak, 2015).

Jika seberkas sinar-X dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut  $\theta$ , 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 yang menghasilkan puncak difraksi. Besar sudut difraksi tergantung pada panjang gelombang ( $\lambda$ )

berkas sinar-X dan jarak antar bidang penghamburan ( $d$ ). Skema difraksi sinar-X dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Skema difraksi sinar-X (Cullity,1978)

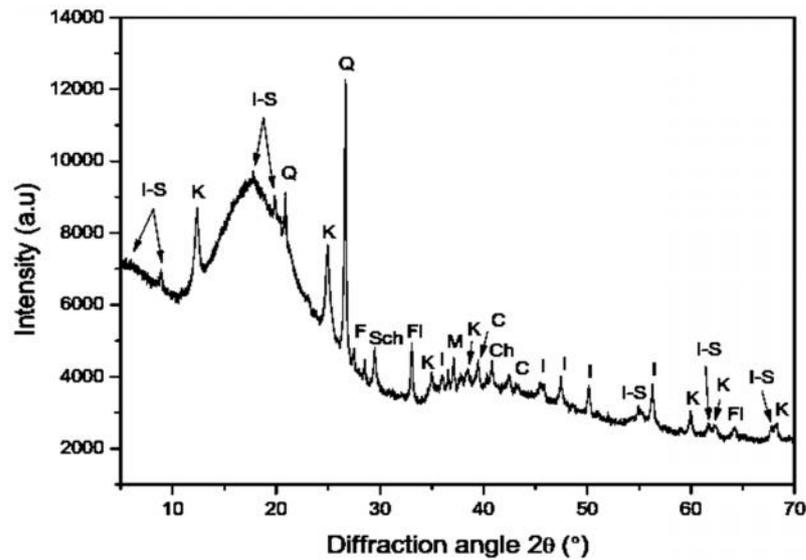
Dari gambar tersebut, menunjukkan sinar datang yang menumbuk pada titik bidang pertama dan dihamburkan oleh atom D. Sinar datang yang kedua menumbuk bidang berikutnya dan dihamburkan oleh atom B, sinar ini menempuh jarak  $AB + BC$  bila dua sinar tersebut paralel dan satu fasa (saling menguatkan). Dalam hal ini dapat dikatakan fasa suatu bahan berupa fasa murni dan fasa kristal dapat ditentukan setelah diamati oleh XRD menggunakan difraktometer sebuk. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkan. Tiap puncak yang muncul pada pola difraktogram mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi (Fuente *et al.*, 2016).

Difraksi sinar-X adalah alat untuk menyelidiki struktur dari suatu material. Teknik ini berawal dalam penemuan von Laue pada tahun 1912 tentang difraksi sinar-X kristal, cara difraksi untuk menunjukkan struktur kristal. Pada awalnya, difraksi sinar-X hanya digunakan untuk penentuan struktur kristal. Kemudian, kegunaan

lain dikembangkan, dan sekarang metode ini diterapkan tidak hanya untuk penentuan struktur, tapi untuk masalah beragam seperti analisis kimia dan pengukuran tekanan, untuk mempelajari kesetimbangan fasa dan pengukuran ukuran partikel, untuk penentuan orientasi Kristal tunggal atau ensambel dari orientasi dalam agregat polikristalin (Cullity, 1978).

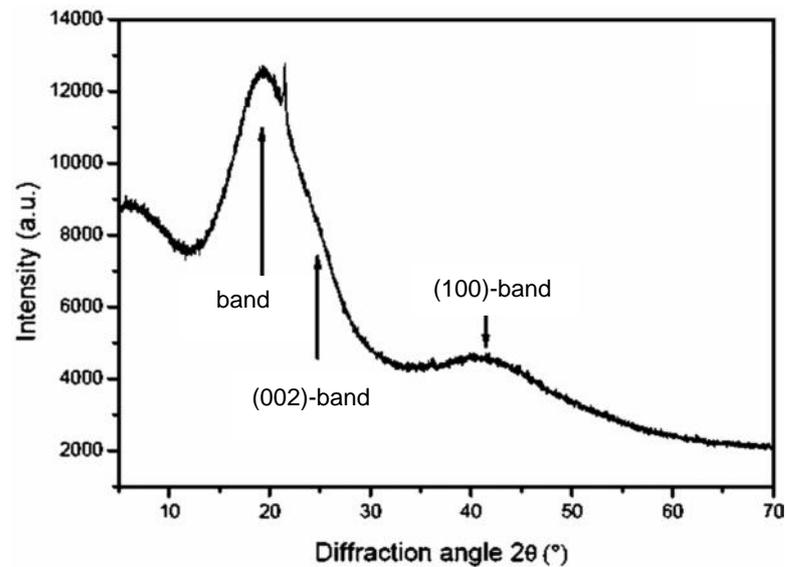
#### **b. Aplikasi XRD**

Nciri *et al* (2016) melakukan sebuah penelitian terhadap aspal alam dan aspal murni. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan komposisi kimia yang memiliki besar berbeda dari kedua aspal (alam dan murni) bahwa aspal merupakan jumlah hidrokarbon yang tinggi (79,01 ~ 87,66% berat karbon dan 9,11 ~ 10,14% berat hidrogen) dan jumlah heteroatom yang lebih rendah (hingga 1% berat nitrogen, 6% berat sulfur, dan 1,40% berat oksigen). Aspal murni diproduksi dengan mengisi kembali minyak mentah melalui distilasi atmosfer diikuti oleh distilasi vakum. Distilasi atmosfer diselesaikan pada suhu di kisaran 300–320°C. Residu atmosfer kemudian dikirim ke unit distilasi vakum yang beroperasi sekitar 320°C. Setelah itu, produk aspal murni ini menjadi sasaran berbagai jenis perawatan kimia dan fisik. Sementara aspal alam terdiri dari campuran aspal dan mineral dari komposisi berikut: aspal terlarut (56% berat), mineral lempung (8% berat), dan kelembaban (0% berat). Ini adalah cairan lengket, hitam, dan semi padat pada suhu kamar. Aspal alam diekstraksi setelah dipanaskan dalam tungku di 235°C. Aspal alam ini selanjutnya diuji XRD dengan hasil uji terlihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Difraktogram Sinar-X Aspal Alam (Nciri *et al.*, 2016).

Bahan aspal alam lengket dikarenakan adanya zat mineral organik, ketahanan dan kekuatan aspal diperoleh dengan bantuan zat organik yang ada di dalamnya, karena memberikan karakteristik pengikat. Gambar 3 menjelaskan tentang komponen kristal utama penyusun sebagian besar aspal murni. Setelah kaolinit dan illite, kuarsa ditemukan menjadi bahan tanah liat yang dalam kelimpahan terbesar. Sejumlah kecil smektit, kalsit, montmorillonit, fluorapatite, dan schertelite juga terdeteksi. Sesuai analisis ini, komposisi mineral dari aspal alam dinilai lebih dari 95% kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ) dan beberapa persen Feldspars (K-komponen;  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) (Nciri *et al.*, 2016). Sementara untuk aspal murni hasil karakterisasi XRD dapat dilihat pada Gambar 4.

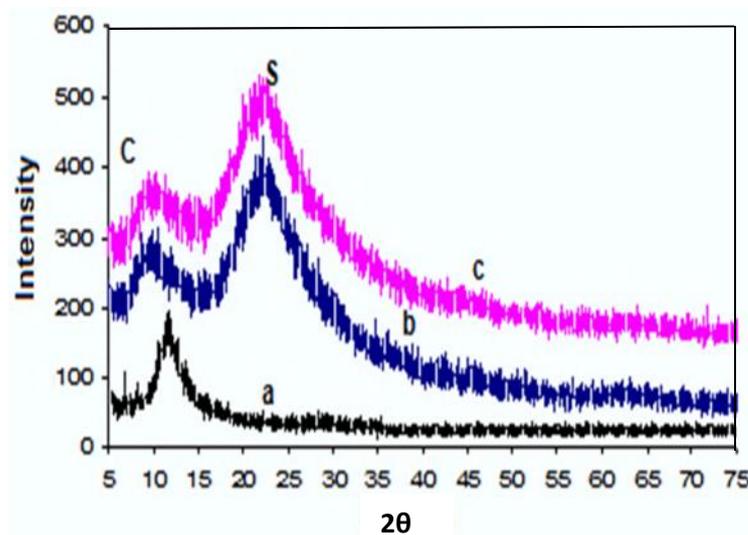


**Gambar 4.** Difraktogram Sinar-X Aspal Murni (Nciri *et al.*, 2016).

Dari Gambar hasil uji XRD tersebut terlihat bahwa karakteristik struktur yang didapat dari hasil uji XRD aspal murni dan aspal alam, dimana puncak yang lebar pada  $18^\circ - 26^\circ$  dan  $42^\circ$  seperti pada Gambar 4 yang mewakili difraktogram sinar-X aspal murni. Puncak muncul sekitar  $2\theta = 18,90^\circ$  karena rantai alifatik atau cincin jenuh. Puncak menetap di sekitar  $2\theta = 23,20^\circ$  dikenal sebagai *band graphene* muncul dengan molekul aromatik yang ada dalam struktur aspal. Pembentukan *band graphene* muncul dengan menunjukkan molekul aromatik yang ada di asphaltenic struktur. Pada nilai  $2\theta = 42,39^\circ$  terbentuk band yang lemah, yang disebabkan oleh pengaruh pertama (100) tetangga terdekat dalam struktur cincin (Babu *et al.*, 1996).

Penelitian lain mengenai aplikasi pengujian XRD dilakukan oleh Simanjuntak dkk. (2012). Dalam penelitiannya dibahas hubungan antara faktor-faktor yang berhubungan dengan konsep dan daya hantar listrik karbosil yang dihasilkan dari sekam padi, dengan tiga suhu yang berbeda, yaitu 200; 400; dan 700 °C.

Karakterisasi sampel menggunakan X-ray teknik difraksi dilakukan untuk mengevaluasi struktur kristalografi dari sampel yang menandakan apakah sampelnya berbentuk amorf atau fase kristal. Identifikasi fase dilakukan dengan bantuan dari database pola difraksi PDF yang diterbitkan oleh Pusat Internasional untuk Data Difraksi (ICDD). Ini dilakukan dengan membandingkan garis difraksi dengan file PCPDF standar menggunakan metode *search-match*. Pola XRD dari contoh ditampilkan dalam Gambar 5.



**Gambar 5.** Difraktogram sampel karbosil pada suhu pirolisis (a) 200 °C, (b) 400°C dan (c) 700 °C (Simanjuntak dkk., 2012).

Seperti yang diharapkan, pola difraksi sinar-x dari sampel seperti ditunjukkan pada Gambar 5. menunjukkan adanya bahan amorf. Puncak pada  $2\theta = 21,6^\circ$  (PDF-27-1615) diidentifikasi sebagai silika amorf dan bahwa pada  $2\theta = 10,6^\circ$  sebagai karbon (PDF-44-0558). XRD ini data jelas menunjukkan bahwa sampel terdiri dari silika dan karbon, menunjukkan bahwa tidak ada reaksi antara silika dan karbon telah terjadi. Ini sesuai dengan fakta bahwa reaksi antara silika dan karbon biasanya terjadi pada suhu tinggi ( $> 1400^\circ\text{C}$ ) menghasilkan pembentukan silikon karbida (SiC) struktur, yang dikenal sebagai fasa kristal. Tidak adanya fase

silika dalam sampel ini kemungkinan besar karena dominasi fase karbon di permukaan, dan karena itu menutupi fase silika. Di sisi lain, dalam sampel disiapkan pada 400 dan 700 ° C (Gambar 3b dan c), baik silika maupun karbon jelas terdeteksi, menunjukkan peningkatan relatif kuantitas silika dalam sampel sebagai peningkatan suhu (Simanjuntak dkk., 2012).

## 2. Kadar Air

Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung dalam bahan yang dinyatakan dalam persen. Kadar air berat basah mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100 %, sedangkan kadar air berdasarkan berat kering dapat lebih dari 100 %. Kadar air juga salah satu karakteristik yang sangat penting pada suatu material, karena air dapat mempengaruhi penampakan, serta sifat fisis dari material tersebut (Winarno, 1997). Analisis kadar air dilakukan dengan menggunakan oven. Kadar air dihitung sebagai persen berat, artinya berapa gram selisih berat dari sampel yang belum diuapkan dengan sampel yang telah (dikeringkan). Jadi kadar air dapat diperoleh dengan menghitung kehilangan berat sampel yang dipanaskan. Pengujian kadar air berdasarkan pada SNI:03-1971-1990 dan AOAC 1995 dengan pemanasan selama 3 jam. Untuk mendapatkan persen kadar air, dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus

$$\text{Kadar Air (\%)} = \left( \frac{m_A - m_B}{m_A} \right) \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan:

$n_A$  = Massa sampel sebelum dipanaskan (gr)

$n_B$  = Massa sampel setelah dipanaskan (gr)

### 3. Daya Serap Air

Penyerapan air merupakan salah satu parameter yang sangat penting untuk memprediksi dan mengetahui kekuatan dan kualitas genteng polimer yang dihasilkan. Genteng polimer yang berkualitas baik memiliki daya serap air yang kecil dimana jumlah pori pori pada permukaan sedikit dan rapat. Semakin besar kerapatan dari permukaannya maka semakin kecil daya serapnya terhadap air. Pengujian daya serap air ini mengacu pada ASTM C-20-00-2005 tentang prosedur pengujian, dimana bertujuan untuk menentukan besarnya persentase air yang diserap oleh sampel yang direndam dengan perendaman selama 24 jam pada suhu kamar. Perhitungan daya serap air dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Daya serap air (\%)} = \frac{n_B - m_K}{n_K} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

$n_B$  = Massa basah sampel (gr)

$n_K$  = Massa kering sampel (gr)

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus sampai dengan September 2018 di Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi, Laboratorium Fisika Material, dan Laboratorium Fisika Eksperimen FMIPA Universitas Lampung sedangkan karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang dan uji fisis (kadar air dan daya serap air) dilakukan di Laboratorium Fisika Polimer FMIPA Universitas Lampung.

#### B. Alat dan Bahan

##### 1. Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain: gelas ukur, *beaker glass*, batang pengaduk, kompor listrik, *oven*, labu *erlenmeyer*, corong kaca, pipet tetes, pH indikator, *magnetic stirrer*, kertas saring, aluminium foil, kertas *tissue*, krusibel (cawan), media pemanas, neraca digital, pengayak (*mesh*) dengan diameter 150  $\mu\text{m}$ , mortar dan pastel, *Hydrolic press* GRASEBY SPECAC, XRD (*X-ray Diffractometer*).

## 2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Larutan natrium hidroksida (NaOH) 1,5% sebagai media ekstraksi, asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) 10%, sekam padi, *aquades*, aspal beku, dan bensin.

### C. Preparasi Sampel

#### 1. Preparasi Sekam Padi

Sekam padi dicuci menggunakan air panas lalu direndam selama 6 jam, hal ini bertujuan untuk pembersihan sampel dari zat-zat pengotor (zat organik) yang larut dalam air seperti batang padi, tanah, dan pengotor lainnya. Kemudian sekam padi yang mengapung di permukaan dipisahkan dan sekam padi yang tenggelam digunakan dalam percobaan selanjutnya. Sekam padi ditiriskan dan dikeringkan menggunakan sinar matahari selama  $\pm 2$  hari. Selama proses penjemuran sekam padi diratakan agar kering secara menyeluruh.

#### 2. Ekstraksi Silika Sekam Padi

Sekam padi yang telah dipreparasi, selanjutnya diekstraksi dalam larutan NaOH 1,5%. Proses ekstraksi dilakukan dengan cara menimbang sekam padi sebanyak 50 gr yang kemudian dimasukkan ke dalam gelas *beaker*, kemudian ditambahkan larutan natrium hidroksida (NaOH) 1,5% sebanyak 50 ml hingga sekam terendam seluruhnya agar diperoleh silika terlarut. Sekam padi yang telah direndam oleh larutan natrium hidroksida (NaOH) 1,5% dipanaskan menggunakan kompor listrik dengan daya 600 Watt selama 30 menit sambil diaduk menggunakan spatula. *Sol* silika yang diperoleh didinginkan kemudian

ditutup menggunakan plastik *press* dan didiamkan selama 24 jam. Proses tahapan inilah yang disebut dengan penuaan (*aging*).

*Sol* silika yang telah didiamkan selama 24 jam selanjutnya disaring menggunakan kertas saring pada corong kaca. Proses ini bertujuan untuk memisahkan *sol* silika dengan zat pengotor (organik) dan ampas filtrat silika. Ekstrak *sol* silika kemudian diasamkan dengan cara menambahkan larutan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 10% sedikit demi sedikit dengan cara ditetaskan untuk memperoleh *gel* silika hingga nilai pH 7. *Gel* silika yang diperoleh didiamkan selama 24 jam agar terjadi proses *aging*. Tahap *aging*, menghasilkan *gel* silika berwarna coklat kehitaman. Untuk memperoleh serbuk silika putih *gel* tersebut dicuci menggunakan *aquadest* yang dipanaskan terlebih dahulu agar mendapatkan *gel* silika yang berwarna putih, proses ini disebut dengan proses *bleaching*. Untuk mengurangi kandungan air pada silika *gel*, *gel* silika disaring menggunakan kertas penyaring. Silika *gel* kemudian dikeringkan menggunakan *oven* dengan suhu  $110\text{ }^\circ\text{C}$  selama 7 jam untuk memperoleh silika dalam bentuk padatan. Silika padatan yang telah melewati proses pengeringan kemudian digerus menggunakan *mortar* dan *pestle*  $\pm 3$  jam hingga menjadi serbuk silika yang halus. Serbuk silika tersebut diayak menggunakan pengayak dengan diameter pori 150 mesh. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan serbuk silika yang homogen. Serbuk putih silika yang telah homogen kemudian dikalsinasi pada suhu  $110\text{ }^\circ\text{C}$  selama 3 jam untuk menghilangkan sisa zat yang mudah menguap (*volatile*).

### 3. Pembuatan Paduan Aspal Silika

Pada pencampuran ini dibuat dengan menyiapkan sampel aspal beku sebanyak 5 gram kemudian dicairkan dengan bensin sebanyak 20 ml. Aspal cair yang telah siap ditambahkan serbuk silika dengan berat 9 gram; 9,5 gram; 10 gram sebagai perbandingan sampel berturut-turut adalah 1:1,8 ; 1:1,9 ; 1:2. Kedua paduan tersebut dicampurkan melalui proses pemanasan menggunakan kompor listrik dengan daya 600 watt. Setelah itu, dilakukan pengeringan dalam oven dengan suhu 100 °C selama 3 jam untuk mengeringkan campuran aspal silika dan menguapkan bensin dalam campuran. Kemudian sampel serbuk aspal silika digerus dan diayak untuk mendapatkan serbuk paduan aspal silika yang lebih homogen.

### 4. Pembuatan Pelet Paduan Aspal Silika

Pencetakan pelet ini menggunakan alat *Hydrolic Press*. Hal pertama yang dilakukan dalam proses ini yaitu menimbang sampel sebanyak 2 gram untuk masing-masing paduan. Setelah ditimbang, masing-masing sampel tersebut dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100°C selama 1 jam hingga sampel benar-benar kering. Proses pengeringan bertujuan pada saat sampel dibentuk pelet tidak terjadi keretakan. Sampel ditekan dengan berat beban 10 ton.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses *pressing* yaitu:

- a. Menyiapkan sampel dan alat *pressing*.
- b. Memasukkan sampel ke dalam cetakan *press* yang berbentuk silinder.
- c. Memasang cetakan *press* ke dalam alat *pressing* kemudian menguncinya dengan memutar sekrup.

- d. Menekan tuas pompaan untuk mendapatkan berat beban sebesar 10 ton.
- e. Memutar sekrup untuk melepaskan cetakan *press*.
- f. Menekan tuas untuk mengeluarkan hasil pelet.

#### **D. Karakterisasi**

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah XRD (*X-Ray Diffraction*) pengukuran kadar air, dan daya serap air. Kode penamaan sampel aspal silika dengan perbandingan 1:1,8 ; 1:1,9 ; 1:2 berturut-turut yakni.

##### **1. XRD (*X-Ray Diffraction*)**

Karakterisasi XRD dilakukan untuk menganalisis pengaruh penambahan kadar silika sekam padi terhadap struktur kristalografi, apakah bersifat amorf atau kristalin. Sumber radiasi menggunakan tembaga (Cu). Langkah-langkah dalam melakukan analisis menggunakan XRD sebagai berikut:

- a. Menyiapkan dan merekatkan sampel yang akan dianalisis pada kaca, kemudian dipasang pada tempatnya yang berupa lempeng tipis berbentuk persegi panjang (*sample holder*) dengan bantuan malam (lilin perekat).
- b. Sampel yang disimpan dipasang pada *sample holder* kemudian diletakkan pada *sample stand* dibagian *goniometer*.
- c. Parameter pengukuran dimasukkan pada *software* pengukuran melalui komputer pengontrol, yaitu meliputi penentuan *scan* mode, penentuan rentang sudut, kecepatan *scan* cuplikan, member nama cuplikan, dan member nomor urut *file* data.

- d. Mengoperasikan alat difraktometer dengan perintah “*Start*” pada menu komputer, dimana sinar-X akan meradiasi sampel yang terpancar dari target Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å.
- e. Hasil difraksi dapat dilihat pada komputer dan intensitas difraksi pada sudut  $2\theta$  tertentu dapat dicetak oleh mesin printer.
- f. Sampel dari sampel *holder* diambil setelah pengukuran cuplikan selesai.

## 2. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan pada SNI:03-1971-1990 dan AOAC 1995 sebagai berikut:

- a. Menyiapkan sampel yang telah dipress serta mortal porselin sesuai jumlah sampel sebagai wadah.
- b. Menimbang massa mortal porselin, lalu mencatatnya sebagai berat wadah (A).
- c. Memasukan masing-masing masa sampel pada wadah porselin yang telah ditimbang, lalu mencatatnya sebagai berat sampel basah (B).
- d. Memasukan sampel kedalam oven yang telah dipanaskan dengan suhu 100°C, proses pengeringan ini berlangsung selama 3 jam.
- e. Menimbang massa sampel bersama mortal porselin yang telah dikeringkan, lalu mencatatnya sebagai berat kering (C). Kemudian menghitung nilai kadar air dengan persamaan 1.

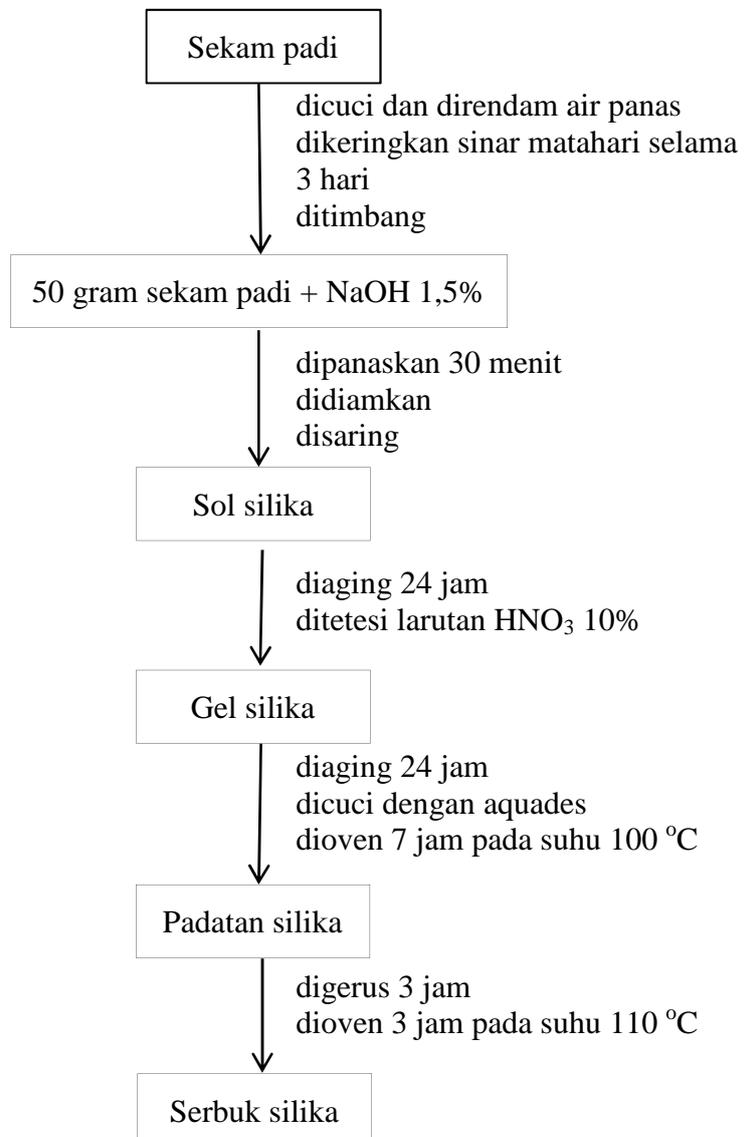
## 3. Pengujian Daya Serap

Pengujian daya serap air ini mengacu pada ASTM C-20-00-2005 tentang prosedur pengujian sebagai berikut:

- Menyiapkan sampel A1, A2, dan A3 yang telah dipress.
- Menimbang massa sampel A1, A2, dan A3. Sebelum dan sesudah proses perendaman selama 3 jam dalam aquadest sebanyak 20 ml.
- Menghitung besarnya penyusutan dengan persamaan 2.

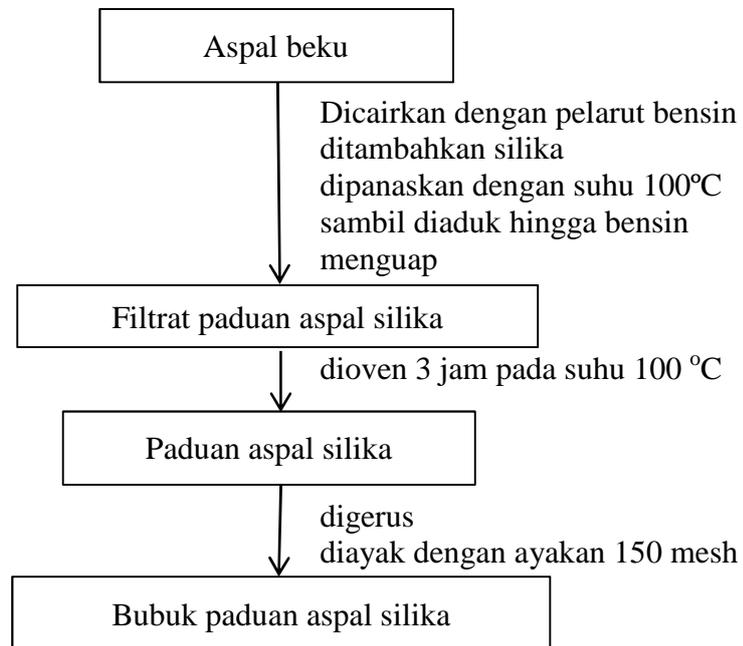
#### E. Diagram alir

Proses preparasi sekam padi dan ekstraksi silika sekam padi ditunjukkan pada diagram alir Gambar 6.



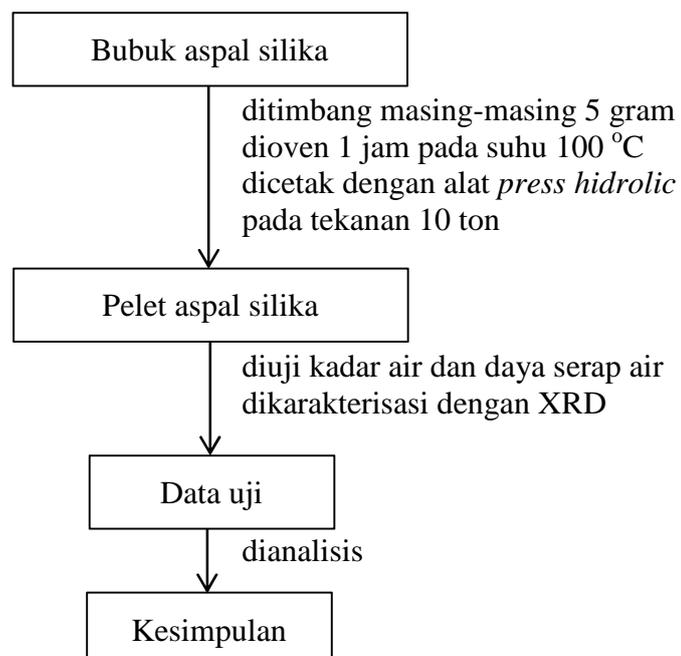
**Gambar 6.** Diagram alir preparasi dan ekstraksi silika sekam padi

Proses pembuatan bubuk aspal dengan penambahan silika ditampilkan pada diagram alir Gambar 7.



**Gambar 7.** Diagram alir pembuatan paduan aspal silika.

Proses pembuatan sampel paduan aspal silika dalam bentuk pelet serta karakterisasinya ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Diagram alir pembuatan sampel dan karakterisasi paduan aspal silika.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

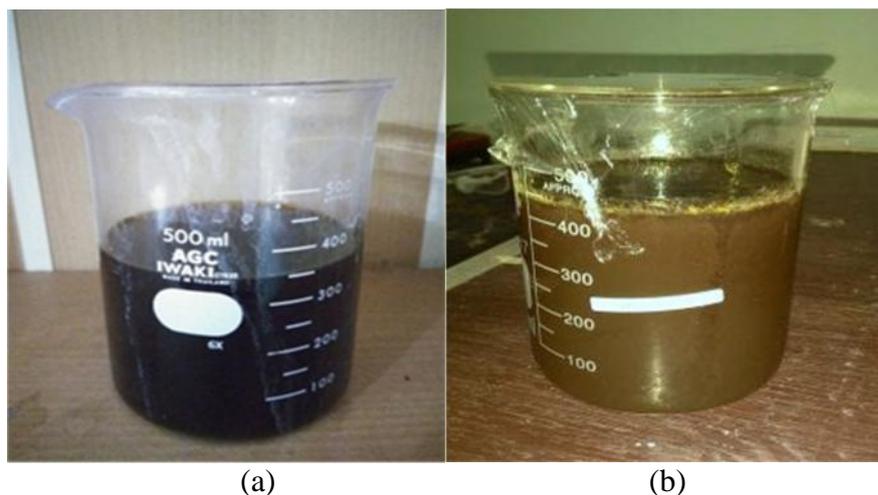
### A. Pengantar

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan silika sekam padi terhadap karakteristik struktur fasa pada aspal akibat penambahan silika sekam padi dengan perbandingan massa yang digunakan 1:1,8; 1:1,9; dan 1:2. Sintesis paduan aspal silika dilakukan dengan mencampurkan bahan silika dan aspal yang dilarutkan pada bensin. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Esso pen 60/70 Singapura, sedangkan sumber silika berasal dari hasil ekstraksi sekam padi yang dilakukan dengan menggunakan metode *sol-gel* dimana bahan yang digunakan untuk media ekstraksi adalah natrium hidroksida (NaOH) 1,5% dan pengendapan silika terlarut digunakan bahan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) 10%.

Paduan aspal silika untuk masing-masing perbandingan kemudian dioven pada suhu 100°C selama 4 jam, adapun paduan aspal silika ini sudah berbentuk serbuk karena pemanasan sebelumnya telah menguapkan bensin yang menjadi bahan pelarut aspal keras. Untuk mengetahui sifat fisis dari bahan dilakukan uji kadar air dan daya serap air. Kemudian untuk mengetahui karakteristik struktur fasa sampel aspal akibat penambahan silika sekam padi dilakukan dengan uji karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*).

## B. Preparasi dan Hasil Ekstraksi Silika Sekam Padi

Sekam padi yang diperoleh dari pabrik penggilingan terlebih dahulu kita preparasi. Sekam padi dicuci menggunakan air panas lalu direndam selama 6 jam, hal ini bertujuan untuk pembersihan sampel dari zat-zat pengotor (zat organik) yang larut dalam air seperti batang padi, tanah, dan pengotor lainnya. Kemudian sekam padi yang mengapung di permukaan dipisahkan dan sekam padi yang tenggelam digunakan dalam percobaan selanjutnya. Sekam padi ditiriskan dan dikeringkan menggunakan sinar matahari selama  $\pm$  2 hari. Selama proses penjemuran sekam padi diratakan agar kering secara menyeluruh.



**Gambar 9.** (a) sol silika, (b) gel silika

Sekam padi yang telah kering selanjutnya diekstraksi dalam larutan NaOH 1,5% dengan dipanaskan menggunakan kompor listrik dengan daya 600 Watt selama 30 menit akan menghasilkan *sol* seperti pada Gambar 9 (a). Filtrat *sol* yang diperoleh berwarna coklat kehitaman yang terbentuk karena adanya zat tanin (selulosa dan lignin) atau zat yang tidak diinginkan (pengotor) yang terkandung didalam sekam padi diantaranya karbon, natrium, kalium, besi, dll (Pahlepi dkk, 2013).

*Sol* silika kemudian di *aging* selama 24 jam lalu ditetesi larutan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 10% hingga mencapai pH 7,0. Gel silika yang didapatkan berwarna coklat seperti terlihat pada Gambar 9 (b). Larutan  $\text{HNO}_3$  berfungsi sebagai asam kuat yang menetralkan larutan filtrat silika. Pemilihan nilai pH berdasarkan pada sifat silika yang tak larut dalam media dengan suasana netral, sehingga pada kondisi ini pengendapan silika diharapkan berlangsung secara optimal (Suka dkk, 2008).

Selanjutnya *gel* berwarna coklat di *aging* selama 24 jam kemudian dicuci menggunakan air hangat untuk membersihkan *gel* dari zat-zat pengotor dengan ditandai perubahan warna pada *gel* menjadi putih setelah dicuci. Pencucian dilakukan berulang-ulang kali hingga *gel* berwarna putih dan tidak berbau seperti pada Gambar 10.



**Gambar 10.** *gel* setelah dicuci

*Gel* berwarna putih kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $150^\circ\text{C}$  untuk menghilangkan kadar air yang dikandung *gel* hingga berbentuk padatan silika. Selanjutnya padatan silika digerus menggunakan *mortar* dan *pestle* selama

3 jam hingga mencapai bubuk silika yang halus dan diayak dengan ayakan 150 mesh untuk mendapatkan ukuran serbuk silika yang homogen. Bubuk silika dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Serbuk silika hasil ekstraksi

### C. Hasil Paduan Aspal Silika

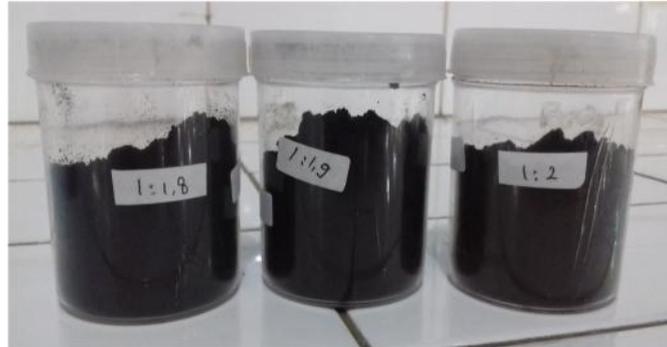
Pembuatan paduan aspal silika dilakukan dengan beberapa perbandingan massa aspal dan silika yaitu 1:1,8; 1:1,9; dan 1:2. Komposisi dari massa aspal dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Komposisi Massa Aspal dan Silika

Kode Sampel	Perbandingan Sampel	Massa Aspal (gr)	Massa Silika (gr)	Massa Total Sampel (gr)
A1	1:1,8	5	9	14
A2	1:1,9	5	9,5	14,5
A3	1:2	5	10	15

Kedua paduan tersebut dicampurkan dengan bantuan bensin sebagai media pencampuran lalu dilakukan proses pemanasan menggunakan kompor listrik dengan daya 600 watt hingga didapatkan sampel berbentuk serbuk dengan aspal dan silika yang telah tercampur. Selanjutnya dilakukan pengeringan dalam oven

pada suhu 100 °C selama 3 jam, hal ini dilakukan untuk mengeringkan campuran aspal silika dan menguapkan bensin yang masih tersisa dalam campuran. Hasilnya didapat sampel paduan aspal silika serbuk seperti terlihat pada Gambar 12 berikut.



**Gambar 12.** Sampel paduan aspal silika serbuk

Kemudian sampel serbuk aspal silika digerus dan diayak untuk mendapatkan serbuk paduan aspal silika yang lebih homogen. Setelah bubuk paduan aspal silika selesai digerus dan diayak kemudian bubuk aspal silika dibentuk menjadi pelet dengan menggunakan alat *hydraulic press* dengan beban 10 ton untuk dilakukan uji daya serap dan kadar air. Bentuk pelet dari paduan aspal silika yaitu seperti pada Gambar 13.



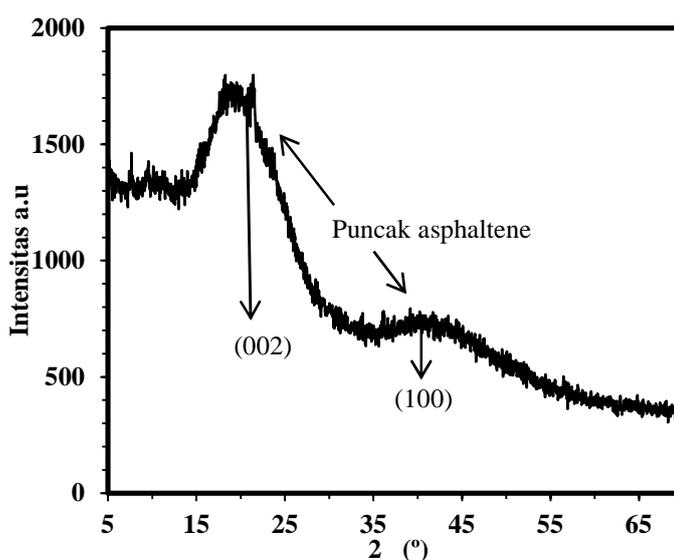
**Gambar 13.** Pelet Paduan Aspal Silika

#### D. Hasil Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*)

Karakterisasi sampel menggunakan *X-ray Diffraction* dilakukan untuk mengevaluasi struktur kristalografi dari sampel yang menandakan apakah sampelnya berbentuk amorf atau fase kristal. Hasil karakterisasi didapatkan difraktogram XRD yang berupa grafik hubungan antara sudut difraksi dengan intensitas. Pola difraktogram tersebut berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas yang relatif bervariasi sepanjang  $2\theta$  tertentu. Pada penelitian ini, karakterisasi XRD dilakukan pada semua sampel (A1, A2, dan A3) serta pada Aspal tanpa campuran silika dengan tujuan dari karakterisasi XRD adalah untuk mengetahui fasa yang terbentuk dengan penambahan silika serta mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur..

##### 1. Hasil Karakterisasi Aspal Murni

Hasil karakterisasi XRD pada bahan awal yaitu aspal tanpa campuran silika ditunjukkan pada Gambar 14 berikut.



**Gambar 14.** Difraktogram XRD aspal

Hasil uji XRD aspal murni yang ditunjukkan pada Gambar 14. memiliki bentuk difraktogram yang dapat digolongkan ke dalam fasa amorf. Analisis difraktogram dilakukan secara kualitatif berdasarkan data standar *Powder Diffraction File* menggunakan metode *search-match*. Hasil dari metode pencocokan ini menunjukkan adanya dua puncak intensitas luas yang menunjukkan amorf dari *asphaltenes* terjadi pada sekitar  $2\theta = 18^\circ$ - $27^\circ$  dan  $42^\circ$ , hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya bahwa aspal murni memiliki fasa amorf (You *et al.*, 2011).

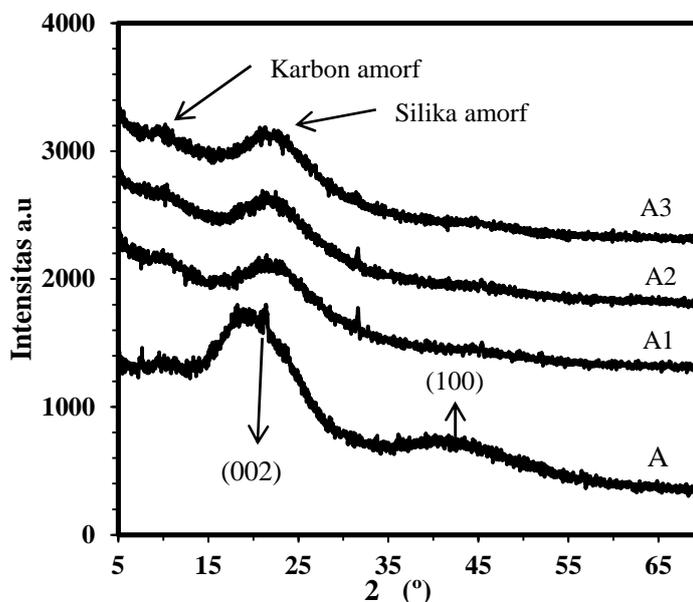
Dari Gambar 14 menjelaskan bahwa karakteristik struktur yang didapat dari hasil uji XRD aspal murni memiliki puncak yang muncul sekitar  $2\theta = 18,90^\circ$  karena rantai alifatik atau cincin jenuh. Puncak menetap di sekitar  $2\theta = 22,44^\circ$  (PDF 41-1487) dikenal sebagai puncak *graphene* atau (002) yang muncul dengan molekul aromatik yang ada dalam struktur aspal (Nciri *et al.*, 2016). Pembentukan puncak *graphene* muncul dengan menunjukkan molekul aromatik yang ada di *asphaltene* struktur. Pada nilai  $2\theta = 42^\circ$  terbentuk puncak yang lemah, yang disebabkan oleh pengaruh pertama (100) tetangga terdekat dalam struktur cincin (Babu *et al.*, 1996).

Pada dasarnya ada empat puncak yang dapat diamati dalam pola XRD dari *asphaltene*. Asal mereka adalah karena hamburan sinar-X dari struktur molekul *asphaltenes*. Puncak ini dianggap sebagai jarak pengepakan struktur jenuh yang muncul dari sinar-X yang tersebar oleh rantai alifatik atau cincin jenuh kental (Ebert *et al.*, 2007). Puncak *graphene* atau (002) berasal dari tumpukan molekul aromatik. Sementara puncak (100) dan (110) adalah refleksi dalam pola X-ray

berasal dari struktur aromatik. Puncak ini sesuai dengan tetangga terdekat pertama dan kedua dalam senyawa cincin. Semakin lebar puncak-puncak dalam pola XRD, semakin banyak urutan jarak pendek dalam jenis struktur itu (Siddiqui *et al.*, 2002).

## 2. Hasil Karakterisasi Aspal dengan Penambahan Silika

Dari hasil karakterisasi XRD pada sampel aspal tanpa penambahan silika, selanjutnya dilakukan karakterisasi pada sampel aspal dengan penambahan silika sekam padi pada masing-masing perbandingan. Dari hasil uji XRD sampel setelah penambahan silika terlihat perbedaan yang cukup signifikan pada garis difraktogram sampel aspal (A) dimana terlihat dua puncak *asphaltene* yang terbentuk sementara pada sampel campuran aspal silika (A1, A2, A3) terdapat garis difraktogram dengan puncak silika dan karbon seperti ditunjukkan pada Gambar 15 berikut.



**Gambar 15.** Difraktogram XRD Aspal dan sampel A1, A2, A3

Sampel paduan aspal silika serbuk hasil preparasi yang telah dipanaskan pada suhu 100°C serta silika hasil ekstrak yang dipanaskan pada suhu 150°C kemudian dianalisis. Dari Gambar 15 diketahui bahwa bentuk grafik dari keempat sampel menunjukkan fase yang terbentuk adalah amorf. Hal ini diakibatkan karena sinar-X yang ditembakkan oleh alat XRD tidak mampu didifraksikan secara sempurna oleh struktur yang amorf sehingga sudut difraksi sinar-X yang dibaca oleh alat menjadi tidak beraturan akibat terjadinya penghamburan. Grafik dari Gambar 15 menjelaskan bahwa terlihat perbedaan puncak antara sampel aspal dan sampel setelah penambahan silika. Pada Gambar 15 (A) dapat dilihat bahwa hasil karakterisasi menggunakan metode XRD pada aspal memiliki bentuk difraktogram yang melengkung seperti punuk atau bukit pada  $2\theta$  antara 20° dan 40° dan ini merupakan puncak *asphaltene* sebagaimana didukung oleh penelitian sebelumnya (Hesp, *et al.*, 2007; You, *et al.*, 2011; Yoo and Yun, 2013).

Sampel dengan penambahan silika 1,8 Gambar 15 (A1) menjelaskan perbedaan puncak dari sampel aspal yang memiliki puncak *asphaltene* sementara setelah penambahan silika puncak *asphaltene* tertutupi. Puncak *asphaltene* tertutup disebabkan karena silika yang ditambahkan pada aspal dimana ukuran molekul silika lebih besar daripada molekul *asphaltene* sehingga puncak aspal tertutupi. Fasa-fasa yang diidentifikasi dalam sampel menunjukkan bergesernya puncak dari  $2\theta = 20^\circ$  menjadi  $2\theta = 22^\circ$  sebagai puncak silika dan posisi puncak  $2\theta = 10,8^\circ$  sebagai karbon (PDF-44-0558) yang digolongkan dalam fasa amorf. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ezzat *et al.* (2016) mengenai pencampuran aspal dan silika sekam padi bahwa hasil XRD dari sampel menunjukkan puncak berada pada  $2\theta = 22^\circ$ . Sementara itu, pada Gambar 15 (A2)

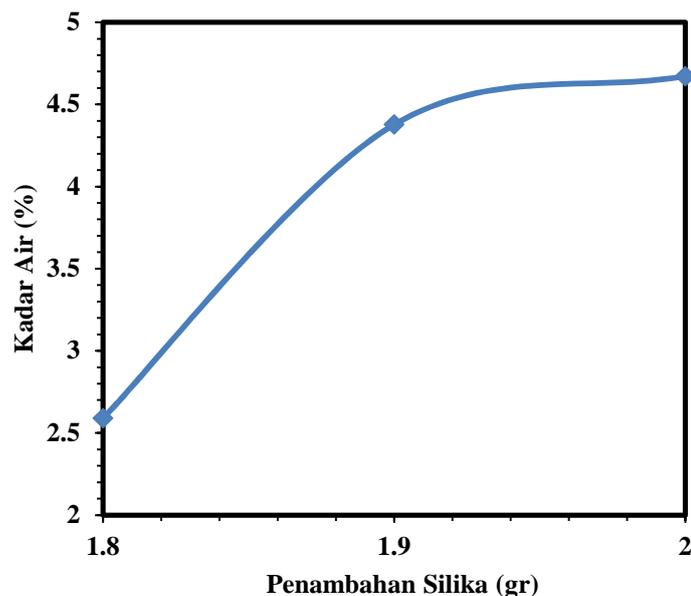
dengan penambahan silika 1,9 memiliki bentuk dan puncak yang mirip dengan Gambar 15 (A1) namun intensitasnya yang berbeda dimana intensitas puncak silika amorf lebih tinggi serta puncak karbon amorf yang sedikit lebih rendah. Sama halnya yang terjadi pada Gambar 15 (A3) dengan penambahan silika 2, terlihat bahwa garis difraktogram lebih halus dengan intensitas puncak silika amorf yang sedikit lebih tinggi dari Gambar 15 (A1 dan A2). Hasil ini mengindikasikan bahwa intensitas puncak silika meningkat dengan meningkatnya jumlah perbandingan silika.

Dari hasil serangkaian percobaan dan karakterisasi sampel paduan aspal dan silika sekam padi menunjukkan bahwa karakteristik sampel yang diperoleh mempunyai fasa amorf karena sampel aspal yang pada dasarnya memiliki fasa amorf serta silika yang memiliki karakteristik awal perubahan struktur amorf ke kristal pada suhu sintering 750°C (Sembiring dan Karo-karo, 2007). Silika yang terdapat di dalam sekam padi memiliki sifat amorf, memiliki ukuran ultra fine, dan sangat reaktif (Chandra *et al.*, 2003). Kehadiran amorf diduga menandakan silika dan penumpukan karbon di permukaan.

## **E. Hasil Uji Fisis**

### **1. Kadar Air**

Setelah mengetahui hasil analisis struktur fasa pada masing-masing sampel, selanjutnya dilakukan analisis pengukuran kadar air dengan hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 16.



**Gambar 16.** Hasil Uji Kadar Air

**Tabel 6.** Hasil Uji Kadar Air

Sampel	Massa A (gr)	Massa B (gr)	Kadar Air (%)
1:1.8	1,970	1,919	2,589
1:1.9	1,942	1,857	4,377
1:2	1,948	1,857	4,671

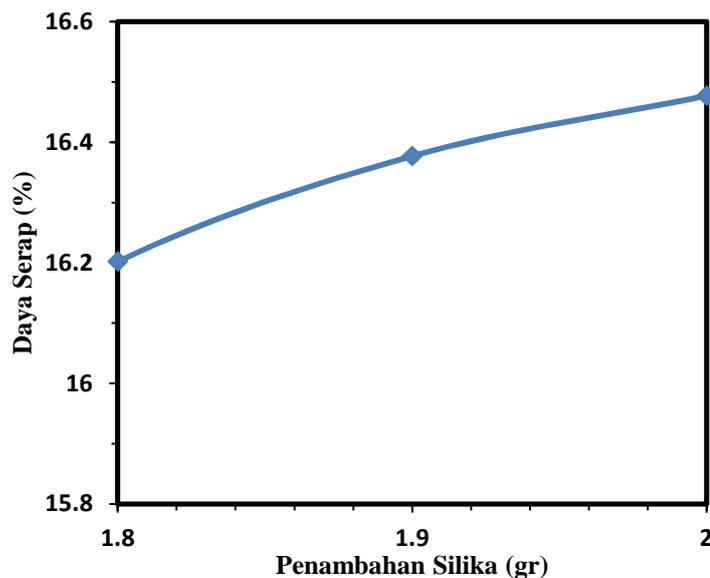
Massa A adalah massa sampel sebelum dilakukan uji, dan Massa B adalah massa sampel setelah dilakukan pengujian. Pengujian kadar air berdasarkan pada SNI:03-1971-1990 dengan pemanasan selama 3 jam. Untuk mendapatkan persen kadar air, dilakukan perhitungan dengan menggunakan Persamaan 1. Hasil pengukuran kadar air pada Gambar 16 menunjukkan bahwa sampel dengan penambahan silika 1,9 nilai kadar air meningkat cukup drastis dari penambahan 1,8, hal ini disebabkan adsorpsi terhadap uap air disekitar sampel sehingga kadar air dengan penambahan silika lebih besar. Namun setelah penambahan silika 2 peningkatan tidak terlalu signifikan, hal ini menunjukkan telah terjadinya proses pemadatan yang memungkinkan terjadinya perubahan ukuran partikel menjadi lebih besar dan menutupi permukaan sampel. Sehingga jumlah pori berkurang dan

menyebabkan absorpsi uap air tidak terlalu signifikan dan memiliki nilai kadar air yang cenderung lebih stabil.

Secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 16 bahwa nilai kadar air meningkat seiring bertambahnya jumlah silika pada sampel. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak silika yang terkandung dalam sampel maka nilai kadar air semakin tinggi, hal ini dikarenakan sifat silika yang memiliki tingkat adsorpsi terhadap uap air yang tinggi sehingga sampel yang mengandung lebih banyak silika lebih menyerap uap air di udara bebas (Fahmi dan Nurfalih, 2016). Menurut Yao *et al.* (2013), silika merupakan material dengan luas permukaan yang sangat besar, adsorpsi yang kuat, kemampuan penyebaran yang baik, kemurnian kimia yang tinggi dan stabilitas yang sangat baik.

## **2. Daya Serap Air**

Setelah mengetahui nilai kadar air dari masing-masing sampel, selanjutnya dilakukan pengujian daya serap air pada sampel untuk mengetahui korelasi hasil uji antara nilai kadar air dan nilai daya serap air pada sampel. Hasil analisis berdasarkan sifat fisis dari pengukuran daya serap air ditunjukkan pada Gambar 17.



**Gambar 17.** Hasil Uji Fisis Daya Serap Air

**Tabel 7.** Hasil Uji Daya Serap Air

Sampel	Massa Kering (gr)	Massa Basah (gr)	Daya Serap Air (%)
1:1.8	0,969	1,126	16,202
1:1.9	0,977	1,137	16,377
1:2	0,965	1,124	16,477

Tabel data hasil dari pengujian penyerapan sampel terhadap air. Proses pengujian ini mengacu pada ASTM C-20-00-2005 tentang prosedur pengujian. Perhitungan daya serap air dilakukan menggunakan Persamaan 2. Pengikatan molekul air oleh silika dimungkinkan oleh struktur kimia silika yakni  $\text{SiO}_2$  dengan pembentukan ikatan molekular antara molekul  $\text{O}_2$  dari silika gel dengan gugus OH dari molekul air (Jagat dan Malino, 2013).

Nilai daya serap air sangat dipengaruhi oleh jumlah agregat dan kandungan silika dalam komposisi sampel yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan adanya silika sekam padi pada sampel dalam jumlah yang terlalu banyak akan mengurangi kepadatan dari sampel yang dihasilkan sehingga uap air diudara akan lebih mudah terserap oleh sampel yang mengandung lebih banyak silika.

Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Fahmi dan Nurfalah (2016) dimana penyerapan sampel dipengaruhi kandungan silika dan faktor lain seperti lama waktu perendaman, bentuk, ukuran, oksigen dan unsur pengotor yang dapat mempengaruhi proses penyerapan pada sampel. Apabila sampel memiliki kandungan silika lebih banyak, maka silika akan mampu mengikat lebih banyak  $-OH$  dan  $O$  yang berasal dari uap air yang diserap silika pada sampel. Ini menyebabkan semakin besarnya penyerapan sampel.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbandingan aspal dan silika 1:1,8; 1:1,9; dan 1:2 menyebabkan perubahan pada difraktogram puncak aspal  $2 = 20^\circ$  menjadi  $2 = 22^\circ$  dan intensitas puncak silika meningkat dengan meningkatnya jumlah perbandingan silika.
2. Penambahan silika menyebabkan puncak *asphaltene* tertutupi oleh munculnya puncak silika amorf dan karbon amorf.
3. Penambahan silika menyebabkan nilai kadar air sampel meningkat stabil pada perbandingan aspal silika 1:2 dengan kenaikan yang tidak terlalu signifikan. Kenaikan ini sebanding dengan nilai daya serap air pada sampel yang cukup stabil pada perbandingan 1:2.

### B. Saran

Disarankan bagi peneliti selanjutnya untuk meneliti penambahan silika terhadap aspal dengan perbandingan yang berbeda dengan metode pencampuran aspal silika yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M.Z., Djakfar, L., dan Martina, G. 2008. Pengaruh Kandungan Air Hujan Terhadap Nilai Karakteristik Marshall dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Campuran Lapisan Aspal Beton (LASTON). *Jurnal rekayasa sipil*. Vol. 2. No. 1. Hal. 39-45.
- Atherton, N.M. 1987. Endor Spectral of Vanadyl Complexes in Asphaltenes. *Magnetic Resonance in Chemistry*. Vol. 25. Pp. 829-830.
- Aquina, H., Saleh, S.M., dan Anggraini, R. 2014. Pengaruh Substitusi Styrofoam ke Dalam Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 3. No.3. Hal. 49-59.
- Babu, V.S., Seehra, M.S. 1996. Modeling of Disorder and X-Ray Diffraction In Coal-Based Graphitic Carbons. *Carbon*. Vol. 34. No. 10. Pp. 1259–1265.
- Chandra, S., Satyanaraya K.G., Pramanda, P.N., and Raghavan, P. 2003. Processing, Properties and Applications of Reactive Silica From Rice Husk. *Journal of Materials Science*. Vol. 38. Pp. 3159 – 3168.
- Cheng, J.M. and Chang, F.W. 1991. The Chlorination Kinetics of Rice Husk. *Indian Engineering Chemical Research*. Vol. 30. No. 1. Pp. 2241-2247.
- Cullity, B.D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction Second Edition*. Addition-Wesley Publishing Company. Inc. Philippines. Hal. 82-84.
- Daifullah, A.A.M., Awwad, N.S. and El-Reffy. 2004. Purification of Phosphoric Acid from Ferric Ion Using Modified Rice Husk. *Journal Chemical Engineering and Processing*. Vol. 4. No. 3. Pp. 193-201.
- Daifullah, A.A.M., Girgis, B.S. and Gad, H.M.H. 2003. Utilization of Argo Residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans. *Journal Materials Letters*. Vol. 5. No. 7. Pp. 1723-1731.
- Darunifah, N. 2007. Pengaruh Bahan Tambah Karet Padat Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC). *Skripsi*. Universitas Diponegoro. Semarang. Hal. 38-41.

- Della, V.P., Kuhn, I., and Hotza, D. 2002. Rice Husk Ash an Alternate Source of Active Silica Production. *Journal Material Letters*. Vol. 5. No. 7. Pp. 818-821.
- Diansari, S. 2016. Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik Low Linear Density Poly Ethylene (LLDPE) Ditinjau Dari Karakteristik Marshall dan Uji Penetrasi Pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC). *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. Hal. 39-45.
- Ebert, L.B., Scanlon, J.C., and Mills, D.R. 2007. X-RAY Diffraction of n-Paraffins and Stacked Aromatic Molecules: Insights Into the Structure of Petroleum Asphaltenes. *Liquid Evlvs Tecknology*. Vol. 2. No. 3. Pp. 257-286.
- Enieb, M., and Diab, A. 2017. Characteristics of Asphalt Binder and Mixture Containingnanosilica. *International Journal of Pavement Research and Technology*. Vol. 10. No. 1. Pp. 148–157.
- Ezzat, H., Badawy, S.E., Gabr, A., Zaki, E.I., and Breakah E. 2016. Evaluation of Asphalt Binders Modified with Nanoclay and Nanosilica. *Procedia Engineering*. Vol. 143. Pp. 1260–1267.
- Fahmi, H., dan Nurfalah, A.L. 2016. Analisa Daya Serap Silika Gel Berbahan Dasar Abu Sekam Padi. *Jurnal Ipteks Terapan*. Vol. 10. No. 3. Hal. 176-182.
- Fuente, D. de la., J. Alcantara., B. Chici., I. Diaz., J.A. Jimenez., and M. Morcillo. 2016. Characterisation of Rust Surfaces Formed on Mild Steel Exposed Tomarine Atmospheres Using XRD and SEM/Micro-Raman Techniques. *Journal of Corrosion Science*. Vol. 30. Pp. 1-12.
- González, V., Martínez-Boza F.J., Gallegos, C., Pérez-Lepe A., and Páez, A. 2012. A Study Into the Processing of Bitumen Modified with Tire Crub Rubber and Polymeric Additives. *Fuel Processing Technology*. Vol. 9. No. 5. Pp. 137–143.
- Hesp, S.A.M., Iliuta, S. and Shirokoff, J.W. 2007. Reversible Aging In Asphalt Binders. *Energy and Fuels*. Vol. 21. No. 2. Pp. 1112-1121.
- Hsu H.W., and Luh B.S. 1980. *Rice Hull, Rice Produck And Utilization*. Avi Publishing Company Inc. New York. Pp. 46-50
- Indriyati, E.W., dan Susanto, H.A. 2015. Kajian Sifat-Sifat Reologi Aspal dengan Penambahan Limbah Ban Bekas. *Jurnal Dinamika Rekayasa*. Vol. 11. No. 1. Hal. 24-28.
- Jagat, L., dan Malino, M.B. 2013. Pengujian Mutu Papan Partikel dari Serbuk Gergaji yang Diisi Silika Gel Hasil Pemurnian Abu Sekam Padi. *Positron*. Vol. 3. No. 1. Hal. 12 – 15.

- Kalapathy, U., A. Proctor, and J. Shultz. 2000. A Simple Methode for Production of Pure Silika from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. Vol. 7. No. 3. Pp. 257-262.
- Katsuki, H. 2005. ZSM-5 Zeolite/Porous Carbon Composite Conventional and Microwave-Hydrothermal Synthesis Of Forsterite Powder from Zeolite Precursors. *Croatica Chemica Acta*. Vol. 1. No. 2. Pp. 203-208.
- Kurama, H. and Kurama, S. 2006. The Reaction Kinetics of Rice Husk Based Cordierite Ceramics. *Ceramics International*. Vol. 34. No. 2. Pp. 1-4.
- Linggo, S. dan Purnamasari, E. 2007. Pengaruh Serat Serabut Kelapa Sebagai Bahan Tambah dengan Filler Serbuk Bentonite pada HRS-Base dan HRS-WC. *Skripsi*. Universitas Atma Jaya. Yogyakarta. Hal. 40-47.
- Mojtaba, G., Morteza, M. S., Majid, T., Jalal, K. R., and Reza, T. 2012. Modification of Stone Matrix Asphalt with Nano-SiO<sub>2</sub>. *Journal of Basic Applied Scientific Research*. Vol. 2. No. 2. Pp. 1338-1344.
- Nciri, N., Hamho, K., and Namjun, C. 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.
- Nciri, Nader., Jeonghyun, K., Nambo, K., and Namjun C. 2016. An In-Depth Investigation Into the Physicochemical, Thermal, Microstructural, and Rheological Properties of Petroleum and Natural Asphalts. *Material*. Vol. 9. Pp. 1-20.
- Pahlepi, R., Simon, S., dan Kamisah, D. P. 2013. Pengaruh Penambahan MgO pada SiO<sub>2</sub> Berbasis Silika Sekam Padi Terhadap Karakteristik Komposit MgO-SiO<sub>2</sub> dan Kesesuaiannya Sebagai Bahan Pendukung Katalis. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 1. Hal. 161-169.
- Permana, R. 2009. Studi Sifat-Sifat Reologi Aspal yang Dimodifikasi Limbah Tas Plastik. *Simposium XII FSTPT*. Universitas Kristen Petra Surabaya. Surabaya. Hal. 1-12.
- Prastanto, H., Cifriadi, A., dan Ramadhan, A. 2015. Karakteristik dan Hasil Uji Marshall Aspal Termodifikasi dengan Karet Alam Terdepolimerisasi Sebagai Aditif. *Jurnal Penelitian Karet*. Vol. 33. No. 1. Hal. 75 – 82.
- Rahaman, M.N. 1995. *Ceramics Proccesing and Sintering*. Departemen of Ceramics Engineering. University of Missouri. USA. Pp. 73.
- Rahman, I., and Padavettan, V. 2012. Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol-Gel: Size. Dependent Properties , Surface Modification and Application in Silica Polymer Nanocomposites. A Riview. *Journal of Nanomaterials*. Vol. 23. Pp. 1-15.

- Riveros, H. and Garza, C. 1986. Rice Husk Ash as a Source of High Purity Silica. *Crystallization Growth*. Vol. 5. No. 7. Pp. 65-71.
- Sari, N. 2006. Pengaruh Penggunaan Aspal AC 60/70 dengan Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Pengganti pada Campuran HRS pada Karakteristik Campuran Terhadap Uji Marshall. *Skripsi*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. Hal. 46-53
- Sarsam, S. 2013. Improving Asphalt Cement Properties by Digestion with Nano Materials. *Research and Application of Material Journal*. Vol. 1. No. 6. Pp. 61-64.
- Sarsam, S. 2015. Impact of Nano Materials on Rheological and Physical Properties of Asphalt Cement. *International Journal of Advanced Materials Research*. Vol. 1. No. 1. Pp. 8-14.
- Sembiring, Simon. 2014. *Buku Ajar Preparasi dan Karakteristik Bahan*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hal. 45-48.
- Sembiring, S., dan Karo-Karo, P. 2007. Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Termal dan Mikrostruktur Silika Sekam Padi. *Jurnal Sains MIPA*. Vol. 13, No. 3, Hal. 233 – 239.
- Sembiring, S. dan Simanjuntak, W. 2015. *Silika Sekam Padi Potensinya sebagai Bahan Baku Keramik Industri*. Plantaxia. Yogyakarta. Hal. 47-49.
- Siddiqui M.N., Ali, M.F., and Shirokoff, J. 2002. Use of X-Ray Diffraction in Assessing the Aging Pattern of Asphalt Fractions. *Fuel*. Vol. 8. No. 1. Pp. 51-58.
- Smallman, R. E. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Edisi Keenam. Terjemahan Sriyati Djaprie. Erlangga. Jakarta. Hal. 127-136.
- 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*. Vol. 12. No. 1. Pp. 119-125.
- 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. Hal. 47-52.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit. Bandung. Hal. 26-28.
- Surdia, T., dan Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramida. Jakarta. Hal. 134-135.

- Wahyudi, H. 2002. Evaluasi Sifat Marshall dan Nilai Struktural Campuran Beton Aspal yang Menggunakan Bahan Ikat Aspal Pertamina PEN 60/70 dan Aspal Esso PEN 60/70. *Tesis*. Universitas Diponegoro. Semarang. Hal. 5-8.
- Wignall, A. 1999. *Proyek Jalan : Teori dan Praktek*. Erlangga. Jakarta. Hal. 24-25.
- Winarno. 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. PT Gramedia. Jakarta. Hal. 78-80.
- Yang, J., and Tighe, S. (2013). A Review of Advances of Nanotechnology in Asphalt Mixtures. *Procedia-Social and Behavioral Science*. Vol. 9. No. 6. Pp. 1269-1276.
- Yao, H., You, Z., Li, L., Lee, C.H., Wingard, D.,Yap, Y.K., Shi, X., and Goh,S.W. 2013. Rheological Properties and Chemical Bonding of Asphalt Modified with Nanosilica. *Journal Material in Civil Engineering*. Vol. 25. Pp. 1619-1630.
- Yelvi dan Mukhlis. 2013. Evaluasi Kinerja Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) Memakai Limbah Abu-CPO Sebagai Filler. *Jurnal rekayasa sipil*. Vol. 9. No. 2. Hal. 31-41.
- Yildirim, Y. 2007. Polymer Modified Asphalt Binders. *Construction and Building Materials*. Vol. 21. No. 1. Pp. 66–72.
- You, Z., Beale, J.M., Foley, J.M., Roy, S., Odegard G.M., Qingli, D., and Goh, S.W. 2011. Nanoclay-Modified Asphalt Materials: Preparation and Characterization. *Construction and Building Materials*. Vol. 25. No. 1. Pp. 1072–1078.
- Yoo, P.J., and Yun, T. 2013. Micro-heterogeneous Modification of an Asphalt Binder Using a Dimethylphenol and High-Impact Polystyrene Solution. *Construction and Building Materials*. Vol. 4. No. 9. Pp. 77–83.