

**PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN MASSA ASPAL DENGAN  
SILIKA TERHADAP STRUKTUR, SIFAT TERMAL,  
FISIS, DAN MEKANIK SILIKA ASPAL**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Reka Puspitasari**



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

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN MASSA ASPAL DENGAN SILIKA TERHADAP STRUKTUR, SIFAT TERMAL, FISIS, DAN MEKANIK SILIKA ASPAL**

**Oleh**

**REKA PUSPITASARI**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan massa aspal dengan silika terhadap struktur, sifat termal, fisis (daya serap air), dan mekanik (kuat tekan) silika aspal. Silika sekam padi diperoleh dari hasil ekstraksi alkalis menggunakan larutan NaOH 1,5 % dan HNO<sub>3</sub> 10 % . Pembuatan paduan silika aspal dilakukan dengan perbandingan massa silika dan aspal yaitu 1:0; 1:0,7; 1:0,8; dan 1:0,9 pada suhu pencampuran 160 °C dan dipanaskan pada suhu 150 °C selama 3 jam. Hasil analisis XRD memperlihatkan struktur amorf yang sama. Penambahan aspal mengakibatkan teridentifikasi adanya karbon pada  $2\theta = 20,04^\circ$  dan terjadi pergeseran  $2\theta$  intensitas tertinggi silika amorf dari  $22,45^\circ$  menjadi  $22,56^\circ$ . Hasil analisis TGA/DTA memperlihatkan bahwa penambahan aspal mengakibatkan penyusutan massa meningkat hingga 32 % serta peningkatan suhu endotermik dan eksotermik. Penambahan aspal juga mengakibatkan terjadinya penurunan nilai daya serap air dan kuat tekan.

Kata kunci: aspal, sifat termal, sifat fisis, silika sekam padi, struktur.

## ABSTRACT

### EFFECT OF VARIATIONS IN MASS RATIO ASPHALT WITH SILICA ON THE STRUCTURE, THERMAL PROPERTIES, PHYSICAL, AND MECHANICAL ASPHALT SILICA

By

REKA PUSPITASARI

*This study aims to determine the effect of variations in mass ratio asphalt with silica on the structure, thermal properties, physical (water absorption), and mechanical (compressive strength) asphalt silica. Rice husk silica was obtained from the alkaline extraction using NaOH 1,5% solution and HNO<sub>3</sub> 10 %. The mass ratio of silica and asphalt alloys were 1:0; 1:0,7; 1:0,8; and 1:0,9. Silica and asphalt were mixed at 160 °C followed by calcinations at 150 °C for 3 hours. The XRD analysis results show the same amorphous structure. The addition of asphalt resulted in the identification of carbon around  $2\theta = 20,04^\circ$  and a shift of  $2\theta$  the highest intensity of silica from 22,45 to 22,56°. TGA/DTA analysis result show that the addition of asphalt causes the mass loss increasing up to 32 % and an increasing in endothermic and exothermic temperatures. The addition of asphalt also causes the value of water absorption and compressive strength to decreases.*

*Keywords: asphalt, physical properties, silica rice husk, structure, thermal properties.*

**PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN MASSA ASPAL DENGAN  
SILIKA TERHADAP STRUKTUR, SIFAT TERMAL,  
FISIS, DAN MEKANIK SILIKA ASPAL**

**Oleh**

**REKA PUSPITASARI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

Judul Skripsi

: **PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN  
MASSA ASPAL DENGAN SILIKA  
TERHADAP STRUKTUR, SIFAT TERMAL,  
FISIS, DAN MEKANIK SILIKA ASPAL**

Nama Mahasiswa

: **Reka Puspitasari**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1517041082

Jurusan

: Fisika

Fakultas

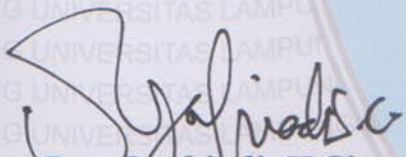
: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

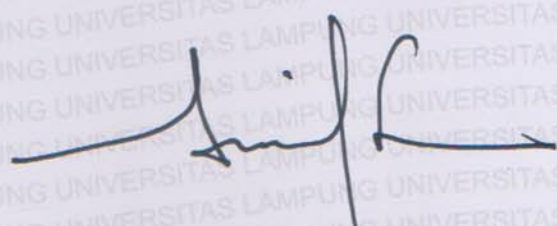
  
**Drs. Syafriadi, M.Si.**

NIP. 196108211992031002

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

NIP. 196110031991031002

**2. Ketua Jurusan Fisika**

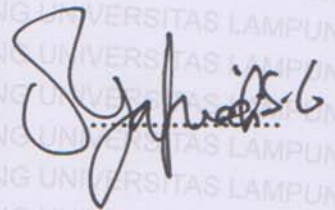
  
**Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**

NIP. 197109092000121001

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua : **Drs. Syafriadi, M.Si.**

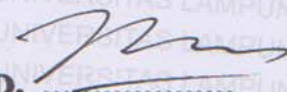


Sekretaris : **Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.**



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



**Drs. Suratman, M.Sc.**  
NIP. 196406041990031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **23 Desember 2019**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, 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, 23 Desember 2019



**Reka Puspitasari**  
NPM. 1517041082

## RIWAYAT HIDUP

Penulis yang bernama lengkap Reka Puspitasari dilahirkan di Kesugihan Baru, pada tanggal 15 Agustus 1996 dari pasangan Bapak Masri Hadiwijaya dan Ibu Masnun Lena sebagai anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Way Empulau Ulu pada tahun 2009, MTs Negeri Liwa pada tahun 2012, dan SMA Negeri 1 Liwa pada tahun 2015.

Pada tahun 2015, penulis diterima sebagai mahasiswa di Universitas Lampung, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota bidang Minat dan Bakat (Minbak). Penulis pernah menjadi asisten Praktikum Fisika Dasar 1, Fisika Dasar 2, Elektronika Dasar 1, Elektronika Dasar 2, Fisika Eksperimen, Optik, dan Sol Gel. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian Fisika-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2F-LIPI) dengan judul **“Pembuatan Nanopartikel Magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan Pelapisan PEG-6000”**. Selain itu, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Surya Mataram, Kecamatan Marga Tiga, Kabupaten Lampung Timur pada bulan Juli-Agustus 2018.

## **PERSEMBAHAN**

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

**Orang tuaku (Ayah dan Ibu)** tercinta yang telah memberikan banyak nasehat, do'a, dan menjadi motivasi terbesarku selama ini.

**Kakakku** serta **Adikku** yang selalu memberi dukungan dan semangat.

**Rekan-rekan** seperjuanganku dan sahabat Fisika FMIPA UNILA angkatan 2015.

Almamater Tercinta

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

## **MOTTO**

"Allah SWT tidak akan membebani seorang hamba melainkan sesuai dengan kesanggupannya"

(Q.S. Al-Baqarah: 286)

"Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar. Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha"

(B.J. Habibie)

"Ingatlah Allah saat hidup tidak berjalan sesuai keinginanmu. Allah pasti punya jalan yang lebih baik untukmu"

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan atas karunia dan kesempatan yang Allah SWT berikan hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Perbandingan Massa Aspal dengan Silika Terhadap Struktur, Sifat Termal, Fisis, dan Mekanik Silika Aspal”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari masih adanya kekurangan dalam penelitian maupun penulisan skripsi. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 23 Desember 2019

Penulis,

**Reka Puspitasari**

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan atas karunia dan kesempatan yang Allah SWT berikan hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Perbandingan Massa Aspal dengan Silika Terhadap Struktur, Sifat Termal, Fisis, dan Mekanik Silika Aspal”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Syafridi, M.Si., selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, saran, motivasi, serta ilmunya selama melakukan penelitian dan penulisan skripsi.
2. Bapak Prof. Drs. Simon Sembiring, Ph.D., selaku Pembimbing II yang telah memberikan masukan-masukan dan nasehat dalam penulisan skripsi.
3. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D., selaku Pembahas atas masukan yang membangun sehingga penelitian dan penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Drs. Suratman, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

6. Bapak Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D., dan Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan serta nasehat kepada penulis.
7. Segenap dosen dan staf di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Orang tuaku, Abah dan Emak tersayang serta Udo dan Adek yang selalu menyayangi, menjaga, memberi semangat, dan mendo'akan penulis.
9. Sahabat seperjuanganku Hana Haritsah, Deafani Wahyu Ardaniswari, Ira Sudarsono Putri, Josalina, dan Reza Arsela. Terima kasih atas kerjasamanya, dukungan, bantuan, dan do'a yang telah diberikan.
10. Sahabatku tersayang Friska Tiara Desy, Hana Haritsah, dan Rosa Melinda yang selalu menemani, membantu, dan mendo'akan penulis.
11. Teman-teman Fisika 2015 serta sahabat KKN Desa Surya Mataram Iyen, Widya, dan Purwa yang selama ini memberikan motivasi dan semangat.

Serta berbagai pihak yang telah ikut serta membantu penulis dalam menunjang terselesaikannya tugas akhir. Semoga Allah SWT membalas dengan berkali lipat kebaikan dan kemudahan atas urusannya. Aamiin.

Bandar Lampung, 23 Desember 2019  
Penulis,

**Reka Puspitasari**

## DAFTAR ISI

|                                   | Halaman |
|-----------------------------------|---------|
| <b>ABSTRAK</b> .....              | i       |
| <b>ABSTRACT</b> .....             | ii      |
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....        | iii     |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....  | iv      |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....   | v       |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....   | vi      |
| <b>RIWAYAT HIDUP</b> .....        | vii     |
| <b>PERSEMBAHAN</b> .....          | viii    |
| <b>MOTTO</b> .....                | ix      |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....       | x       |
| <b>SANWACANA</b> .....            | xi      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....           | xiii    |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....        | xv      |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....         | xvi     |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....       | 1       |
| A. Latar Belakang .....           | 1       |
| B. Rumusan Masalah .....          | 3       |
| C. Batasan Masalah .....          | 3       |
| D. Tujuan Penelitian .....        | 4       |
| E. Manfaat Penelitian .....       | 4       |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> ..... | 5       |

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A. Silika .....                                                                         | 5         |
| 1. Sekam Padi Sebagai Sumber Silika.....                                                | 6         |
| 2. Struktur dan Sifat Termal Silika Sekam Padi.....                                     | 7         |
| B. Aspal.....                                                                           | 9         |
| C. Paduan Aspal Silika.....                                                             | 13        |
| D. Karakterisasi .....                                                                  | 14        |
| 1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....                                                 | 14        |
| 2. <i>Thermo Gravimetric Analysis/ Differential Thermal Analysis</i><br>(TGA/DTA) ..... | 17        |
| 3. Daya Serap Air .....                                                                 | 19        |
| 4. Kuat Tekan.....                                                                      | 20        |
| <b>III. METODE PENELITIAN.....</b>                                                      | <b>22</b> |
| A. Waktu dan Tempat Penelitian .....                                                    | 22        |
| B. Alat dan Bahan Penelitian .....                                                      | 22        |
| 1. Alat Penelitian .....                                                                | 22        |
| 2. Bahan Penelitian .....                                                               | 23        |
| C. Prosedur Penelitian .....                                                            | 23        |
| 1. Preparasi Sekam Padi .....                                                           | 23        |
| 2. Ekstraksi Silika Sekam Padi .....                                                    | 23        |
| 3. Pembuatan Paduan Silika Aspal .....                                                  | 25        |
| 4. Pembuatan Pelet Paduan Silika Aspal .....                                            | 25        |
| 5. Karakterisasi dan Uji Sampel .....                                                   | 25        |
| D. Diagram Alir Penelitian.....                                                         | 27        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                                                    | <b>30</b> |
| A. Pengantar .....                                                                      | 30        |
| B. Hasil Ekstraksi Silika Sekam Padi.....                                               | 30        |
| C. Hasil Paduan Silika Aspal .....                                                      | 31        |
| D. Hasil Analisis XRD .....                                                             | 32        |
| E. Hasil Analisis TGA/DTA .....                                                         | 34        |
| 1. <i>Thermo Gravimetric Analysis</i> (TGA).....                                        | 34        |
| 2. <i>Differential Thermal Analysis</i> (DTA).....                                      | 37        |
| F. Hasil Uji Fisis dan Mekanik .....                                                    | 38        |
| 1. Daya Serap Air .....                                                                 | 38        |
| 2. Kuat Tekan.....                                                                      | 40        |
| <b>V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>                                                     | <b>41</b> |
| A. Kesimpulan.....                                                                      | 41        |
| B. Saran .....                                                                          | 42        |

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                                                                | Halaman |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 2.1. Pola difraksi silika sekam padi (Haslinawati <i>et al.</i> , 2009).....                          | 8       |
| 2.2. (a) DTA; (b) TGA silika sekam padi (Sembiring dan Karo Karo, 2007) .....                         | 9       |
| 2.3. Skema mesin XRD lengkap dengan goniometernya.....                                                | 15      |
| 2.4. Skema difraksi sinar-X (Cullity, 1978).....                                                      | 16      |
| 2.5. Perangkat TGA/DTA.....                                                                           | 18      |
| 2.6. Perangkat uji kuat tekan.....                                                                    | 20      |
| 3.1. Diagram alir preparasi dan ekstraksi silika sekam padi.....                                      | 28      |
| 3.2. Diagram alir pembuatan dan karakterisasi paduan aspal silika. ....                               | 29      |
| 4.1. (a) sol silika; (b) gel silika; (c) silika padatan; (d) silika serbuk; dan (e) pelet silika..... | 29      |
| 4.2. Pellet silika aspal (a) SA07; (b) SA08; dan (c) SA09.....                                        | 31      |
| 4.3. Difraktogram sampel (a) SA0; (b) SA07 .....                                                      | 32      |
| 4.4. Grafik TGA (a) SA0; (b) SA07; (c) SA08; dan (d) SA09 .....                                       | 35      |
| 4.5. Grafik DTA (a) SA0; (b) SA07; (c) SA08; dan (d) SA09 .....                                       | 37      |
| 4.6. Grafik hasil uji daya serap air .....                                                            | 39      |
| 4.7. Grafik hasil uji kuat tekan.....                                                                 | 40      |

## DAFTAR TABEL

| Tabel                                                                                        | Halaman |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 2.1. Komposisi kimia silika sekam padi setelah diolah (Daifullah <i>et al.</i> , 2003).....  | 6       |
| 2.2. Ketentuan-ketentuan untuk aspal penetrasi 60/70 (Departemen Pekerjaan Umum, 2010) ..... | 13      |
| 4.1. Persentase penyusutan massa pada sampel .....                                           | 36      |

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Pemanfaatan silika diberbagai bidang terus meningkat seiring berkembangnya zaman. Silika banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri gelas, semen, beton, dan keramik (Sun dan Gong, 2001; Fadli *et al.*, 2013). Selain itu, silika juga dapat dimanfaatkan sebagai paduan dalam berbagai macam bahan komposit. Silika dapat diperoleh dari ampas tebu (Alayande *et al.*, 2012), tongkol jagung (Mohanraj *et al.*, 2012), alang-alang (Kow *et al.*, 2014), rumput gajah (Cordeiro dan Sales, 2015), daun bambu (Aminullah *et al.*, 2015), dan yang paling banyak digunakan adalah sekam padi (Chandrasekhar *et al.*, 2003; Simanjuntak *et al.*, 2016).

Sekam padi sebagai limbah yang banyak tersedia merupakan salah satu sumber penghasil silika terbesar. Komposisi utama sekam padi adalah selulosa, lignin, dan silika. Sekam padi mengandung 80 % bahan organik yang mudah menguap dan 20 % adalah silika (James and Rao, 1986). Silika sekam padi dapat diperoleh dengan sangat mudah dan biaya yang relatif murah, yaitu dengan metode ekstraksi alkalis. Metode ekstraksi alkalis didasarkan pada tingginya kelarutan silika dalam larutan alkalis dan pengendapan silika terlarut menggunakan asam (Kalapathy *et al.*, 2000). Dengan metode ini, sekam padi mampu menghasilkan silika dengan kemurnian hingga 95,35 % (Suka *et al.*, 2008).

Menurut Sheeraz *et al.* (2013) silika dari sekam padi mempunyai struktur amorf dan kestabilan termal yang baik sehingga dapat dimodifikasi melalui perlakuan termal. Hasil analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa silika yang dihasilkan dari sekam padi mempunyai porositas besar sehingga nilai daya serap airnya tinggi. Silika sekam padi juga bersifat hidrofilik (menyerap air) (Sulastri dan Kristianingrum, 2010). Selain itu, silika sekam padi dapat berfungsi sebagai pengisi (*filler*). Salah satu bahan yang dapat diisi oleh silika sekam padi adalah aspal.

Aspal merupakan material berwarna coklat gelap atau hitam pekat yang terdiri dari karbon, hidrogen, sulfur, oksigen, dan nitrogen (Read dan Whiteoak, 2003). Pemanfaatan aspal dalam berbagai macam produk antara lain jalan aspal, tambalan lubang di jalan, trotoar, jembatan, lantai parkir, dan atap bangunan (Asiyanto, 2010). Aspal mempunyai daya lekat yang kuat dan bersifat hidrofobik (Krebs dan Walker, 1971). Sebagai bahan pengikat, aspal memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat maupun antara sesama aspal (Arifin *et al.*, 2008).

Oleh karena itu, perbedaan karakteristik yang dimiliki silika dan aspal membuat kedua bahan tersebut dapat dijadikan material baru dalam bentuk paduan. Hasil penelitian yang telah dilakukan Ouyang *et al.* (2005) menunjukkan bahwa penambahan silika ke dalam aspal dapat memperbaiki sifat reologi dari paduan tersebut. Nanosilika yang ditambahkan juga memiliki pengaruh positif pada sifat mekanik paduan aspal (Enieb dan Diab, 2017). Penelitian yang telah dilakukan Budiawati (2019) mengenai paduan aspal silika dengan perbandingan massa

1:1,8; 1:1,9; dan 1:2 menyimpulkan bahwa nilai kadar air dan daya serap air akan meningkat seiring dengan bertambahnya massa silika pada sampel.

Berdasarkan penjelasan di atas, pada penelitian ini akan dilakukan proses pembuatan paduan silika sekam padi dan aspal. Proses pembuatan silika dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi alkalis. Silika sekam padi yang diperoleh kemudian dipadukan dengan aspal. Perbandingan massa silika sekam padi dan aspal yang digunakan yaitu 1:0; 1:0,7; 1:0,8; dan 1:0,9. Sampel selanjutnya dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Thermo Gravimetric Analysis/Differential Thermal Analysis* (TGA/DTA) untuk mengetahui struktur dan sifat termal, serta uji sifat fisis (daya serap air), dan mekanik (kuat tekan).

## **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian adalah bagaimana pengaruh perbandingan massa aspal dengan silika terhadap struktur, sifat termal, fisis (densitas dan porositas), dan mekanik (kuat tekan) silika aspal?

## **C. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Pembuatan bahan paduan menggunakan silika sekam padi yang diperoleh dengan metode ekstraksi alkalis dan aspal keras penetrasi 60/70.
2. Perbandingan massa silika dengan aspal yang digunakan antara lain 1:0; 1:0,7; 1:0,8; dan 1:0,9 wt %.

3. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD dan TGA/DTA, untuk mengetahui struktur dan sifat termal, serta uji sifat fisis (daya serap air), dan mekanik (kuat tekan).

#### **D. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan massa aspal dengan silika terhadap struktur, sifat termal, fisis (daya serap air), dan mekanik (kuat tekan) silika aspal.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang hendak dicapai pada penelitian ini antara lain:

1. Memberikan informasi mengenai struktur, sifat termal, fisis (daya serap air), dan mekanik (kuat tekan) silika aspal.
2. Dapat dijadikan bahan referensi dalam studi selanjutnya mengenai paduan aspal dengan bahan baku utama silika sekam padi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Silika

Silika atau silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) adalah senyawa kimia yang terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat, serta memiliki struktur dengan empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral di sekitar atom pusat yaitu atom silikon. Selain itu, karakteristik yang dimiliki silika antara lain mempunyai pori-pori antara 2-50 nm (Beck *et al.*, 1992), berat jenis 2,2-2,6  $\text{g/cm}^3$ , titik lebur 1610-1713  $^{\circ}\text{C}$ , serta titik didih 2230  $^{\circ}\text{C}$  (Haynes, 2011), dan massa molar 60,08 g/mol (Carmona *et al.*, 2013).

Berdasarkan karakteristik tersebut, silika dapat diperoleh dari beberapa sumber yaitu mineral dan nabati. Material penghasil silika mineral yang banyak digunakan antara lain pasir silika (Rashid *et al.*, 2014), batu apung (Mourhly *et al.*, 2015), dan tanah liat (Zulfiqar *et al.*, 2016) yang masing-masing memiliki kemurnian silika sebesar 50 %; 48 %; dan 58 %. Untuk memperoleh silika dari sumber mineral, proses yang digunakan adalah proses peleburan dengan suhu tinggi, sehingga memerlukan biaya produksi yang mahal. Silika mineral juga mempunyai beragam pengotor yang sulit dipisahkan sebelum pengolahan. Sementara itu, silika yang bersumber dari tanaman dapat diperoleh dengan mudah karena ketersediaannya yang melimpah dan mempunyai kemurnian cukup tinggi. Beberapa tanaman yang digunakan sebagai penghasil silika nabati diantaranya

ampas tebu dengan kemurnian 56,5 % (Alayande *et al.*, 2012), tongkol jagung 60 % (Mohanraj *et al.*, 2012), rumput gajah 67,8 % (Cordeiro dan Sales, 2015), dan daun bambu 75,9 % (Aminullah *et al.*, 2015). Selain itu, salah satu tanaman yang mempunyai kemurnian tinggi untuk dimanfaatkan sebagai sumber silika yaitu sekam padi 90,5 % (Todkar *et al.*, 2016).

### 1. Sekam Padi Sebagai Sumber Silika

Sekam padi merupakan bagian kulit terluar pembungkus butir padi, terdiri dari dua bentuk daun yang saling bertautan yaitu sekam kelopak dan mahkota. Secara umum, komponen organik dalam sekam padi meliputi 33-40 % selulosa, 19-47 % lignin, dan 17-26 % hemiselulosa (Della *et al.*, 2002). Komponen organik dalam sekam padi yang mengandung banyak silika yaitu selulosa, tersusun dari jaringan serat-serat dalam bentuk serabut yang keras. Selain itu, sekam padi juga mengandung unsur anorganik berupa abu dengan kandungan utamanya adalah silika sebesar 94-96% (Bakar *et al.*, 2016). Beberapa komposisi kimia lain dalam sekam padi terlihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1.** Komposisi kimia silika sekam padi setelah diolah (Daifullah *et al.*, 2003).

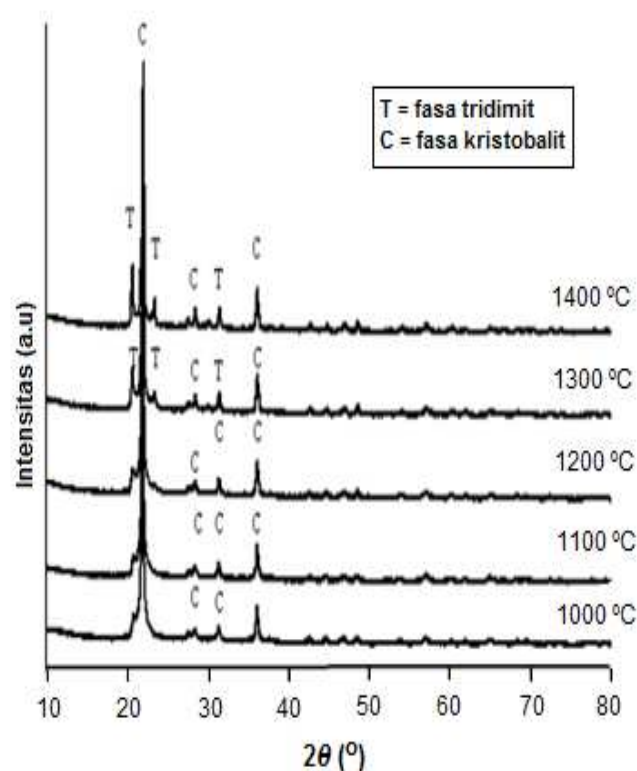
| Senyawa                        | Kandungan (%) |
|--------------------------------|---------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 94,5          |
| CaO                            | 0,25          |
| MgO                            | 0,23          |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,78          |
| K <sub>2</sub> O               | 1,1           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,5           |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,53          |
| SO <sub>x</sub>                | 0,6           |

Untuk memperoleh silika dari sekam padi dapat dilakukan dengan metode ekstraksi alkalis yang didasarkan pada sifat kelarutan silika yang tinggi dalam basa seperti KOH dan NaOH sehingga silika dapat diperoleh dalam bentuk sol, dan pengendapan silika terlarut dalam asam seperti HCl dan HNO<sub>3</sub> (Suka *et al.*, 2008; Simanjuntak *et al.*, 2016). Pandiangan *et al.* (2008) melakukan ekstraksi silika dari sekam padi menggunakan larutan KOH pada berbagai variasi konsentrasi serta larutan HNO<sub>3</sub> 10% sebagai pengendap. Kondisi optimum yang diperoleh untuk ekstraksi silika dari sekam padi adalah menggunakan KOH 1,5 % selama 30 menit. Pada penelitian yang dilakukan Kalapathy *et al.* (2000) dapat disimpulkan bahwa sekam padi yang diekstraksi menggunakan larutan NaOH dan diendapkan menggunakan larutan HCl dapat menghasilkan silika dengan kemurnian sebesar 93 %. Selain menghasilkan kemurnian silika, dengan metode yang sama namun menggunakan larutan berbeda yaitu NaOH dan HNO<sub>3</sub> juga diperoleh silika dengan luas permukaan spesifik 245 m<sup>2</sup>/g, volume pori 0,78 cc/g dan diameter partikel antara 15-91 nm (Adam *et al.*, 2011).

## **2. Struktur dan Sifat Termal Silika Sekam Padi**

Sekam padi secara alami berstruktur amorf pada suhu di bawah 800 °C (Shinohara dan Kohyama, 2004). Silika amorf mempunyai stabilitas rendah sehingga mudah bereaksi dengan pereaksi lain. Kereaktifan silika sekam padi menurun dengan naiknya suhu di atas 800 °C akibat meningkatnya kristalinitas dalam bentuk kristobalit dan tridimit (Sembiring dan Karo Karo, 2007; Shinohara dan Kohyama, 2004). Haslinawati *et al.* (2009) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh suhu *sintering* terhadap struktur silika sekam padi yang terlihat pada Gambar 2.1. Silika sekam padi yang *disintering* pada suhu 450 °C mempunyai

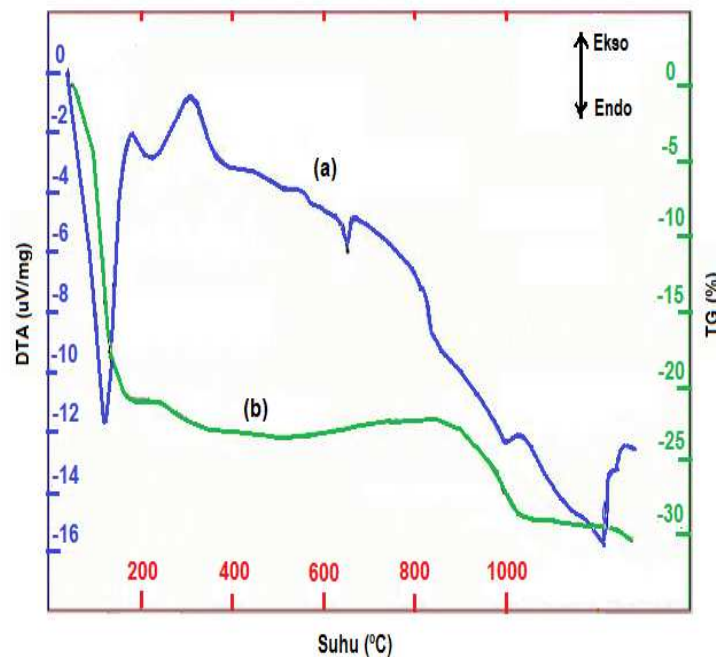
struktur amorf yang berada pada  $2\theta = 21,6^\circ$ . Seiring dengan meningkatnya suhu *sintering*, struktur amorf dari silika sekam padi berubah menjadi kristal yang ditandai dengan mulai terbentuknya fasa kristobalit (C) dan tridimit (T) pada suhu  $1000^\circ\text{C}$ . Kemudian dengan kenaikan suhu *sintering*  $1300\text{--}1400^\circ\text{C}$  fasa kristobalit dan tridimit yang terbentuk semakin meningkat kuat yang berada pada puncak tertinggi  $2\theta = 21,9^\circ$  dan  $20,6^\circ$ .



**Gambar 2.1.** Difraktogram silika sekam padi (Haslinawati *et al.*, 2009).

Analisis kehilangan massa/perubahan termal (TGA/DTA) silika sekam padi terlihat pada Gambar 2.2 (a-b). Kurva TGA Gambar 2.2 (b) memperlihatkan bahwa dari suhu  $50\text{--}170^\circ\text{C}$  mengalami kehilangan massa sebesar 21%. Sementara kurva DTA Gambar 2.2 (a) memperlihatkan kehadiran dua puncak endoterm masing-masing pada suhu  $123^\circ\text{C}$  dan  $652^\circ\text{C}$ . Puncak endoterm pertama pada suhu  $123^\circ\text{C}$  mengindikasikan terjadinya proses penguapan air dan senyawa

volatil yang terjadi akibat interaksi air dengan silika. Puncak endoterm kedua pada suhu 652 °C mengindikasikan proses kristalisasi dan dekomposisi fasa kristobalit yang ditunjukkan oleh kurva TGA bahwa tidak ada kehilangan massa pada perubahan suhu 180-700 °C.



**Gambar 2.2.** (a) DTA; (b) TGA silika sekam padi (Sembiring dan Karo Karo, 2007).

## B. Aspal

Aspal atau bitumen adalah material perekat berwarna cokelat gelap atau hitam yang didominasi oleh senyawa hidrokarbon dan bersifat termoplastis. Sifat termoplastis ini menunjukkan bahwa aspal akan menjadi padat jika suhu berkurang dan akan lunak jika suhu bertambah, atau dinamakan dengan sifat kepekaan terhadap perubahan suhu. Kepekaan terhadap suhu dari setiap jenis aspal berbeda-beda, yang dipengaruhi oleh komposisi kimia di dalam aspal (Sukirman, 2003). Secara umum, komponen kimia yang terkandung meliputi 82-88 % karbon, 8-11 % hidrogen, 0-6 % sulfur, 0-1,5 % oksigen, dan 0-1 %

nitrogen. Selain itu, aspal juga mengandung beberapa unsur lain seperti vanadium, nikel, besi, magnesium, dan kalsium (Read dan Whiteoak, 2003). Selain mempunyai komponen yang beragam, aspal memiliki sifat fisis yang diperhitungkan dalam perancangan pembangunan yaitu daya tahan aspal dalam mempertahankan sifat aslinya sebagai bahan pengikat yang mampu mengikat agregat serta sebagai bahan pengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada pada agregat itu sendiri (Arifin *et al.*, 2008).

Pada dasarnya, jenis aspal dapat diklasifikasikan berdasarkan asal dan proses pembentukannya sebagai berikut.

#### 1. Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang terbentuk dari proses alam. Indonesia mempunyai aspal alam yang terkenal dengan nama Asbuton yaitu aspal batu buton yang berasal dari Pulau Buton. Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal dan merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan (Sukirman, 2003).

#### 2. Aspal Batuan

Aspal batuan adalah endapan alamiah batu kapur atau batu pasir yang diperpadat dengan bahan-bahan berbitumen. Aspal ini umumnya membuat permukaan jalan sangat tahan lama dan stabil, tetapi kebutuhan transportasi yang tinggi membuat aspal terbatas pada daerah-daerah tertentu saja (Oglesby dan Hicks, 1996).

#### 3. Aspal Minyak Bumi

Aspal minyak bumi adalah aspal yang terbentuk dari proses yang terjadi dalam pabrik sebagai hasil samping dari proses penyulingan minyak bumi. Aspal minyak

bumi ini mempunyai kualitas yang standar (Asiyanto, 2010). Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, parafin *base crude oil* yang banyak mengandung parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak bumi jenis *asphaltic base crude oil* (Sukirman, 2003). Aspal minyak terbagi kedalam tiga jenis menurut Sukirman (2003) yaitu:

a) Aspal Keras (*Asphalt cement*)

Aspal keras merupakan aspal hasil destilasi yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan akan mengeras pada saat penyimpanan (suhu kamar). Berdasarkan tingkat penetrasinya, maka aspal dibedakan menjadi:

1. Aspal penetrasi rendah 40/55, digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan daerah dengan cuaca iklim panas.
2. Aspal penetrasi rendah 60/70, digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas sedang atau tinggi, dan daerah dengan iklim panas.
3. Aspal penetrasi tinggi 80/100, digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas sedang/rendah dan daerah dengan iklim dingin.
4. Aspal penetrasi tinggi 100/110, digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas rendah dan daerah dengan iklim dingin.

Angka-angka tersebut menunjukkan kekerasan aspal. Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin

atau lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia pada umumnya dipergunakan aspal dengan penetrasi 60-70 dan 80-100.

b) Aspal Cair (*Cut back asphalt*)

Aspal cair adalah campuran antara aspal keras dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Jenis aspal cair tergantung dari jenis pengencer yang digunakan untuk mencampur aspal keras tersebut. Aspal cair bukan merupakan produksi langsung dari penyaringan minyak kasar (*crude oil*), melainkan produksi tambahan, karena harus melalui proses lanjutan terlebih dahulu. Dengan demikian aspal cair berbentuk cair dalam temperatur ruang. Aspal cair digunakan untuk keperluan lapis resap pengikat (*prime coat*).

c) Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Pada proses ini partikel-partikel aspal padat dipisahkan dan didispersikan dalam air. Aspal emulsi pada umumnya mempunyai sifat dapat menembus pori-pori halus dalam batuan yang tidak dapat dilalui oleh aspal cair biasa. Aspal emulsi terdiri dari butir-butir aspal halus dalam air yang diberikan muatan listrik sehingga butir-butir aspal tersebut tidak bersatu dan tetap berada pada jarak yang sama.

Dalam penelitian ini jenis aspal yang digunakan yaitu aspal keras dengan penetrasi 60/70. Adapun spesifikasi dari aspal keras penetrasi 60/70 terlihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Ketentuan-ketentuan untuk aspal penetrasi 60/70 (Departemen Pekerjaan Umum, 2010).

| No. | Jenis Pengujian                              | Metode Pengujian | Persyaratan |
|-----|----------------------------------------------|------------------|-------------|
| 1   | Penetrasi pada 25 °C (0,1 mm)                | SNI 06-2456-1991 | 60-70       |
| 2   | Viskositas Dinamis 60 °C (Pa.s)              | SNI 06-6441-2000 | 160-240     |
| 3   | Viskositas Kinematis 135 °C (C.St)           | SNI 06-6441-2000 | ≥ 300       |
| 4   | Titik Lembek (°C)                            | SNI 2434:2011    | ≥ 48        |
| 5   | Daktilitas pada 25 °C (cm)                   | SNI 2432:2011    | ≥ 100       |
| 6   | Titik Nyala (°C)                             | SNI 2433:2011    | ≥ 232       |
| 7   | Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%) | AASHTO T44-03    | ≥ 99        |
| 8   | Berat Jenis                                  | SNI 244:2011     | ≥ 1.0       |

### C. Paduan Aspal Silika

Berbagai penelitian mengenai paduan aspal telah banyak dikembangkan seperti menggunakan material silika ataupun nanosilika. Budiawati (2019) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan silika sekam padi terhadap struktur dan sifat fisis aspal, dengan perbandingan aspal dan silika yang digunakan yaitu 1:1,8; 1:1,9 dan 1:2. Hasil XRD yang diperoleh memperlihatkan struktur yang terbentuk pada aspal yaitu amorf dengan dua puncak aspalten, sementara puncak paduan silika aspal terdeteksi karbon amorf dan silika amorf dengan puncak aspalten bergeser dari  $2\theta = 20^\circ$  menjadi  $2\theta = 22^\circ$  dan tertutupi oleh silika. Hasil uji kadar air memperlihatkan bahwa penambahan silika yang semakin banyak menyebabkan nilai kadar air sampel meningkat.

Sementara itu, nanosilika juga digunakan sebagai bahan tambahan yang menjanjikan untuk merancang dan mempersiapkan bahan-bahan multifungsi baru karena luas permukaan dan stabilitas yang tinggi (Senff *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2019). Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penambahan nanosilika dalam pengikat aspal sedikit menurunkan viskositas serta secara

signifikan meningkatkan *antiaging* dan kinerja ketahanan *rutting* pengikat aspal (Yao *et al.*, 2013). Selain itu, penambahan nanosilika dengan konsentrasi 2 % dan 4 % dari berat pengikat aspal secara keseluruhan menunjukkan bahwa partikel nanosilika menyebar dengan baik dalam matriks pengikat aspal. Nanosilika mengurangi kerentanan terhadap kerusakan kelembaban dan meningkatkan kekuatan campuran aspal (Yusoff *et al.*, 2014). Nanosilika yang ditambahkan juga memiliki efek positif terhadap sifat reologi pengikat aspal (Fini *et al.*, 2015). Hasil penelitian paduan aspal lainnya yaitu dengan penambahan mesopori nanosilika menunjukkan berkurangnya nilai penetrasi, daktilitas suhu rendah dan titik lembek pada pengikat aspal meningkat (Xiaoming *et al.*, 2017).

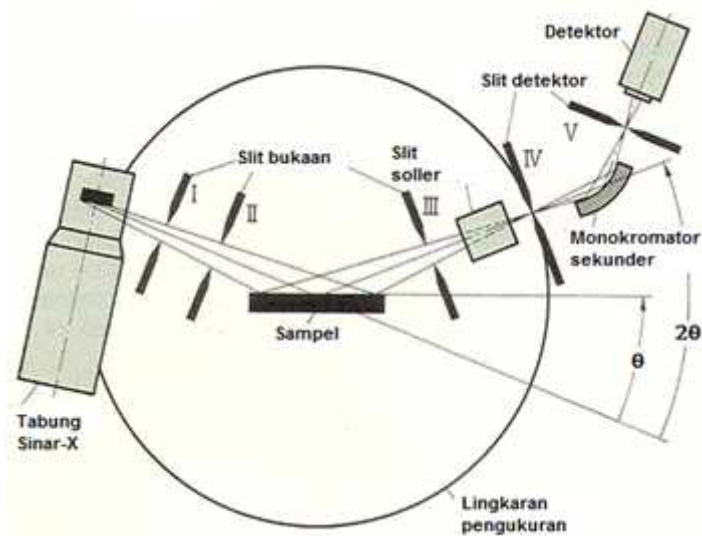
#### **D. Karakterisasi**

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat dan kemampuan dari suatu sampel yang dibuat. Beberapa jenis karakterisasi yang dibahas untuk keperluan penelitian ini antara lain XRD, TGA/DTA, daya serap air, dan kuat tekan.

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

XRD merupakan alat karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui struktur, ukuran kristal, dan fasa dari suatu bahan. Karakterisasi XRD menggunakan sinar-X sebagai sinar yang mengenai sampel yang akan diteliti. Sinar-X termasuk ke dalam gelombang elektromagnetik yang sama seperti cahaya dengan panjang gelombang yang lebih pendek. 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 Å. Sementara itu, panjang gelombang cahaya tampak diketahui berada dalam orde 6000 Å. Sinar-X

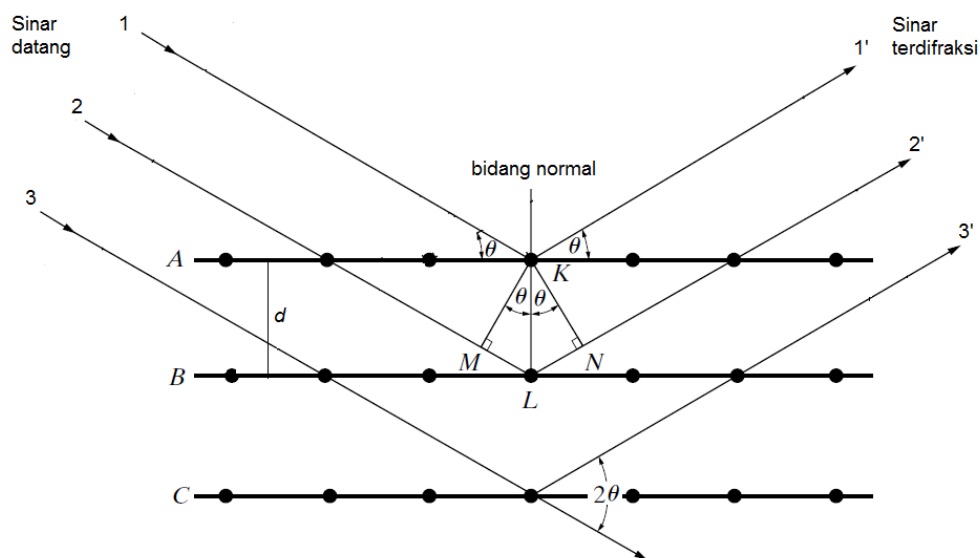
dihasilkan ketika elektron berkecepatan tinggi menumbuk sebuah logam target. Sinar-X dapat diproduksi di dalam sebuah wadah (tabung) kedap udara dengan cara memanaskan filamen sehingga mengeksitasi elektronnya yang kemudian dipercepat dengan listrik bertegangan tinggi sehingga elektron memiliki energi kinetik yang tinggi. Karena elektron bermuatan negatif, maka elektron akan bergerak menuju sebuah plat logam yang diletakan pada bagian anoda yang bermuatan positif (Cullity, 1978). Skema peralatan sinar-X secara umum beserta goniometernya terlihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Skema mesin XRD lengkap dengan goniometernya.

Seberkas sinar-X dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut  $\theta$  dan sebuah detektor diletakkan untuk mencatat sinar yang sudut hamburannya sebesar  $\theta$ . Ketika  $\theta$  diubah, detektor akan mencatat puncak intensitas yang bersesuaian dengan orde  $n$  dan digambarkan dalam bentuk difraktogram. Jika sinar-X mengenai suatu bahan, maka intensitas sinar yang ditransmisikan akan lebih rendah dibandingkan dengan intensitas sinar datang,

karena terjadi penyerapan oleh bahan dan penghamburan atom-atom dalam bahan tersebut. Menurut Bragg, berkas yang terdifraksi oleh kristal terjadi jika pemantulan oleh bidang sejajar atom menghasilkan interferensi konstruktif. Pemantulan sinar-X oleh sekelompok bidang paralel dalam kristal pada hakekatnya merupakan gambaran dari difraksi atom-atom kristal. Arah difraksi sangat ditentukan oleh geometri kisi, yang bergantung pada orientasi dan jarak antar bidang kristal. 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 2.4.



**Gambar 2.4.** Skema difraksi sinar-X (Cullity, 1978).

Gambar 2.4 memperlihatkan seberkas sinar mengenai atom K pada bidang pertama dan L pada bidang berikutnya. Jarak antara bidang K dengan bidang L adalah  $d$ , sedangkan  $\theta$  adalah sudut difraksi. Berkas-berkas tersebut mempunyai panjang gelombang  $\lambda$ , dan jatuh pada bidang kristal dengan jarak  $d$  dan sudut  $\theta$ . Agar mengalami interferensi konstruktif, kedua berkas tersebut harus memiliki

beda jarak  $n\lambda$ . Sedangkan beda jarak lintasan kedua berkas adalah  $2d \sin \theta$ . Interferensi konstruktif terjadi jika beda jalan sinar adalah kelipatan bulat panjang gelombang  $\lambda$ , sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n\lambda = ML + LN \quad (2.1)$$

$$\text{dengan } \sin\theta = \frac{ML}{KL} = \frac{LN}{KL} \quad (2.2)$$

$$KL = d \quad (2.3)$$

$$ML = LN = d \sin\theta \quad (2.4)$$

sehingga,

$$n\lambda = d\sin\theta + d\sin\theta \quad (2.5)$$

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (2.6)$$

Pernyataan ini adalah hukum Bragg. Pemantulan Bragg dapat terjadi jika  $\lambda \leq 2d$ , karena itu tidak dapat menggunakan cahaya kasat mata, dengan  $n$  adalah bilangan bulat = 1,2,3, ... (Cullity, 1978).

## **2. *Thermo Gravimetric Analysis/ Differential Thermal Analysis (TGA/DTA)***

TGA adalah suatu teknik analisis yang digunakan untuk menentukan stabilitas termal material dengan cara menghitung perubahan massa yang berhubungan dengan kenaikan suhu. Pada TGA, perubahan massa dapat terjadi karena adanya proses evaporasi, dekomposisi, absorpsi atau reaksi dengan udara luar selama pengujian. Di dalam perangkat TGA terdapat komponen utama yang mengukur massa sampel yaitu timbangan mikro dan sensor suhu. Komponen lainnya antara lain wadah sampel, program pengatur suhu, dan tungku pemanas. Di dalam

sebuah tungku yang dihubungkan dengan sensor suhu terdapat dua wadah yang identik yaitu wadah sampel dan referensi. Kedua wadah ini terhubung dengan timbangan mikro yang akan memantau perubahan massa sampel dan referensi selama proses perubahan suhu. Selisih massa sampel dan referensi direkam dan hasilnya diplot dalam bentuk grafik fungsi massa terhadap suhu (Setiabudi *et al.*, 2012). Perangkat TGA/DTA yang digunakan terlihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5.** Perangkat TGA/DTA.

Sedangkan DTA adalah suatu teknik analisis termal berdasarkan fungsi perubahan material terhadap suhu. Prinsip pengukuran sifat termal dalam DTA adalah dengan mendeteksi adanya perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) sampel dengan material referensi. Suhu sampel dan referensi pada awalnya sama sampai pada suhu tertentu terjadi suatu proses kimia yang terjadi pada sampel sehingga mengakibatkan suhu sampel menjadi bisa lebih tinggi maupun lebih rendah dari suhu referensi. Perbedaan suhu inilah yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya proses fisis seperti penguapan, pelelehan,

penguraian/dekomposisi atau pembentukan struktur kristal/kristalisasi. Jika suhu sampel lebih tinggi dibanding suhu referensi maka perubahan yang terjadi adalah eksotermal dan sebaliknya apabila suhu referensi lebih tinggi dibandingkan dengan suhu sampel yang akan diuji maka yang akan terjadi adalah endotermal (Smykatz-Kloss, 1974).

### 3. Daya Serap Air

Daya serap air adalah persentase berat air yang mampu diserap oleh suatu material di dalam air. Besar kecilnya penyerapan air sangat dipengaruhi oleh pori yang terdapat pada suatu material. Perbandingan yang kurang tepat antara komposisi material dan penyusunannya mengakibatkan munculnya pori dengan jumlah yang bervariasi dan menyebar di seluruh butiran. Semakin banyak pori-pori yang terkandung dalam suatu material, maka akan semakin besar juga penyerapan air sehingga ketahanannya akan berkurang. Material yang berkualitas baik memiliki daya serap air yang kecil jika jumlah pori-pori pada permukaan sedikit dan rapat. Prosedur pengujian daya serap air mengacu pada ASTM C-20-00-2005 yang bertujuan untuk menentukan besarnya persentase air yang diserap oleh sampel. Sampel direndam dalam akuades selama 3 jam pada suhu ruang. Perhitungan daya serap air dilakukan menggunakan Persamaan (2.7).

$$\text{Daya serap air (\%)} = \left( \frac{m_b - m_k}{m_k} \right) \times 100\% \quad (2.7)$$

dengan  $m_b$  merupakan massa sampel basah (gram) dan  $m_k$  merupakan massa sampel kering (gram).

#### 4. Kuat Tekan

Kuat tekan suatu material didefinisikan sebagai kemampuan material dalam menahan beban atau gaya mekanis sampai terjadinya kegagalan (*failure*). Beberapa material akan patah atau hancur saat mencapai batas tekan, selain itu juga ada yang mengalami deformasi. Deformasi tersebut dapat dianggap sebagai batas kuat tekan meski belum patah atau hancur, hal ini dapat terjadi pada material yang tidak dapat kembali ke bentuk semula. Sifat dan jenis agregat yang digunakan juga berpengaruh terhadap kuat tekan suatu material. Semakin tinggi tingkat kekerasan agregat yang digunakan maka akan dihasilkan kuat tekan yang tinggi. Selain itu, susunan butir agregat yang baik dan seragam dapat memungkinkan terjadinya interaksi antar butir sehingga rongga antar agregat dalam kondisi optimum yang menghasilkan material padat dan kuat tekan yang tinggi. Perangkat uji kuat tekan terlihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6.** Perangkat uji kuat tekan.

Pengukuran kuat tekan mengacu pada SNI 03-2095-1998. Perhitungan nilai kuat tekan dilakukan menggunakan Persamaan (2.8).

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (2.8)$$

dengan  $f_c$  merupakan nilai kuat tekan sampel ( $\text{N/mm}^2$ ),  $P$  merupakan beban yang diberikan (N), dan  $A$  merupakan luas penampang sampel ( $\text{mm}^2$ ).

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni sampai dengan September 2019 di Laboratorium Fisika Material, Laboratorium Fisika Eksperimen, Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung. Sedangkan karakterisasi XRD dilakukan di laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang, TGA/DTA di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Lampung, uji fisis (daya serap air) di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung dan uji mekanik (kuat tekan) di Laboratorium Material Teknik Mesin FT Universitas Lampung.

#### **B. Alat dan Bahan Penelitian**

##### **1. Alat Penelitian**

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain gelas ukur, gelas beker, batang pengaduk, kompor listrik, tabung *erlenmayer*, oven, corong *bucher*, pipet tetes, indikator pH (*Merck Universal Paper*), *magnetic stirrer*, kertas saring, aluminum *foil*, kertas *tissue*, plastik *wrap*, plastik klip, botol sampel, cawan porselin, neraca digital, ayakan (*wiremesh*) dengan ukuran 150 dan 250 mesh, mortar dan pastel, *hydraulic press* (GASEBY SPECAC), XRD (X'Pert PRO

PANalytical), TGA/DTA (Exstar TG/DTA 7300), dan *compression testing machine* (MTS Landmark).

## **2. Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain silika sekam padi, aspal keras penetrasi 60/70, NaOH 99 %, HNO<sub>3</sub> 68 %, akuades, dan bensin.

## **C. Prosedur Penelitian**

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

### **1. Preparasi Sekam Padi**

Sekam padi terlebih dahulu dibersihkan, selanjutnya sekam padi direndam dengan air selama 1 jam. Lalu sekam padi yang mengapung dipermukaan dibuang dan sekam padi yang tenggelam diambil. Kemudian sekam yang tenggelam direndam menggunakan air panas selama 6 jam, hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan kotoran-kotoran (zat organik) seperti batang padi, tanah, dan pengotor lainnya. Kemudian sekam padi ditiriskan dan dikeringkan dijemur di bawah sinar matahari selama  $\pm 2$  hari. Sekam padi dioven pada suhu 100 °C selama  $\pm 30$  menit supaya sekam benar-benar kering dengan merata.

### **2. Ekstraksi Silika Sekam Padi**

Sekam padi yang telah dipreparasi, selanjutnya dilakukan ekstraksi silika yang terdapat pada sekam padi dengan menggunakan larutan NaOH. Pada proses

ekstraksi, yang pertama dilakukan adalah sekam padi ditimbang sebanyak 50 gram kemudian dimasukkan ke dalam gelas beker. Kemudian sekam padi dimasukkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan NaOH 1,5 % sebanyak 500 mL hingga sekam terendam seluruhnya. Sekam padi yang telah direndam dalam larutan NaOH kemudian dipanaskan menggunakan kompor listrik dengan daya 600 Watt hingga mendidih  $\pm$  30 menit sambil terus diaduk agar panasnya merata dan busa tidak meluap. Setelah uap panas hilang, dilakukan proses *aging* (penuaan) dengan menutupi permukaan gelas beker dengan plastik *wrap* selama kurang lebih 24 jam.

Setelah *aging*, ampas sekam dipisahkan dari ekstrak sekam padi menggunakan corong *bucher* untuk memperoleh sol silika (filtrat silika terlarut) dan menyaring filtrat tersebut menggunakan kertas saring agar terpisah dengan zat pengotor (organik). Sol silika kemudian ditetesi larutan HNO<sub>3</sub> 10 % setetes demi setetes hingga memperoleh gel silika dengan pH 7. Gel silika yang diperoleh didiamkan selama 24 jam agar terjadi proses *aging*. Tahap *aging*, menghasilkan gel silika berwarna coklat kehitaman. Kemudian gel silika dicuci dengan aquades hangat dan gel silika disaring menggunakan kertas saring hingga warna gel menjadi putih. Gel silika kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 110 °C selama 3 jam hingga diperoleh silika padatan. Selanjutnya silika padatan yang melewati proses pengeringan kemudian digerus menggunakan mortar dan pastel  $\pm$  1 jam hingga menjadi serbuk silika yang halus. Serbuk silika tersebut diayak menggunakan ayakan 250 mesh. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan serbuk silika yang homogen.

### 3. Pembuatan Paduan Silika Aspal

Pada pencampuran ini dibuat paduan silika aspal dengan perbandingan massa berturut-turut adalah 1:0; 1:0,7; 1:0,8; dan 1:0,9. Serbuk silika disiapkan sebanyak 5 gram dan aspal sebanyak 3,5; 4; dan 4,5 gram. Aspal dicairkan dengan bensin sebanyak 30 ml sambil diaduk diatas *hot plate stirrer* pada suhu 160 °C. Aspal cair yang telah siap ditambahkan serbuk silika sedikit demi sedikit, paduan tersebut diaduk dengan spatula hingga paduan menjadi serbuk. Setelah itu, dilakukan pengeringan dalam oven dengan suhu 150 °C selama 3 jam untuk mengeringkan paduan silika aspal dan menguapkan bensin dalam paduan. Kemudian serbuk silika aspal digerus dan diayak untuk mendapatkan serbuk paduan silika aspal yang lebih homogen.

### 4. Pembuatan Pelet Paduan Silika Aspal

Pembuatan pelet paduan silika aspal menggunakan alat *hydraulic press*. Langkah pertama yang dilakukan yaitu masing-masing sampel paduan silika aspal ditimbang sebanyak 2 gram kemudian sampel dimasukkan ke dalam cetakan *press* yang berbentuk silinder berdiameter 2 cm. Cetakan *press* dipasang pada alat *pressing* dan sekrup diputar untuk menahan tuas supaya terkunci, kemudian tuas dipompa hingga berat beban mencapai 10 ton. Sekrup diputar untuk melepaskan cetakan *press*, kemudian tuas dipompa kembali untuk mengeluarkan hasil pellet.

### 5. Karakterisasi Sampel

Karakterisasi yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah XRD dan TGA/DTA, uji daya serap air, dan kuat tekan.

### a) XRD

Struktur paduan silika aspal dikarakterisasi menggunakan X'Pert PRO PANalytical dengan radiasi Cu-K $\alpha$  yang dioperasikan pada 40 kV dan 30 mA dengan sampel berbentuk serbuk. *Step size* yang digunakan adalah 0,0260 pada rentang  $2\theta$  50 hingga 100°. Pengolahan data dianalisis menggunakan *Match!* 3 dan grafik diplot dengan *OriginLab* versi 9.0.

### b) TGA/DTA

Perubahan fasa dan reaksi dekomposisi paduan silika aspal dianalisis menggunakan Exstar TG/DTA 7300 pada rentang suhu 30 °C hingga 600 °C dengan kenaikan suhu 3 °C tiap menit. Sampel yang digunakan pada analisis ini berbentuk serbuk. Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil terhadap hasil penelitian-penelitian terdahulu.

### c) Daya Serap Air

Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan pada SNI: 03-1971-1990 dengan sampel berbentuk pelet. Prosedur pengujian kadar air sebagai berikut:

1. Cawan porselin ditimbang dan dicatat ( $m_1$ );
2. Sampel dimasukkan ke dalam cawan porselin dan ditimbang massanya ( $m_2$ );
3. Massa sampel basah dihitung dengan ( $m_3 = m_2 - m_1$ );
4. Cawan porselin dikeringkan beserta sampel dalam oven dengan suhu 105 °C selama 3 jam;
5. Setelah kering ditimbang dan dicatat cawan porselin beserta sampel ( $m_4$ );
6. Massa sampel kering dihitung dengan ( $m_5 = m_4 - m_1$ );

7. Kadar air sampel dihitung dengan Persamaan 2.7.

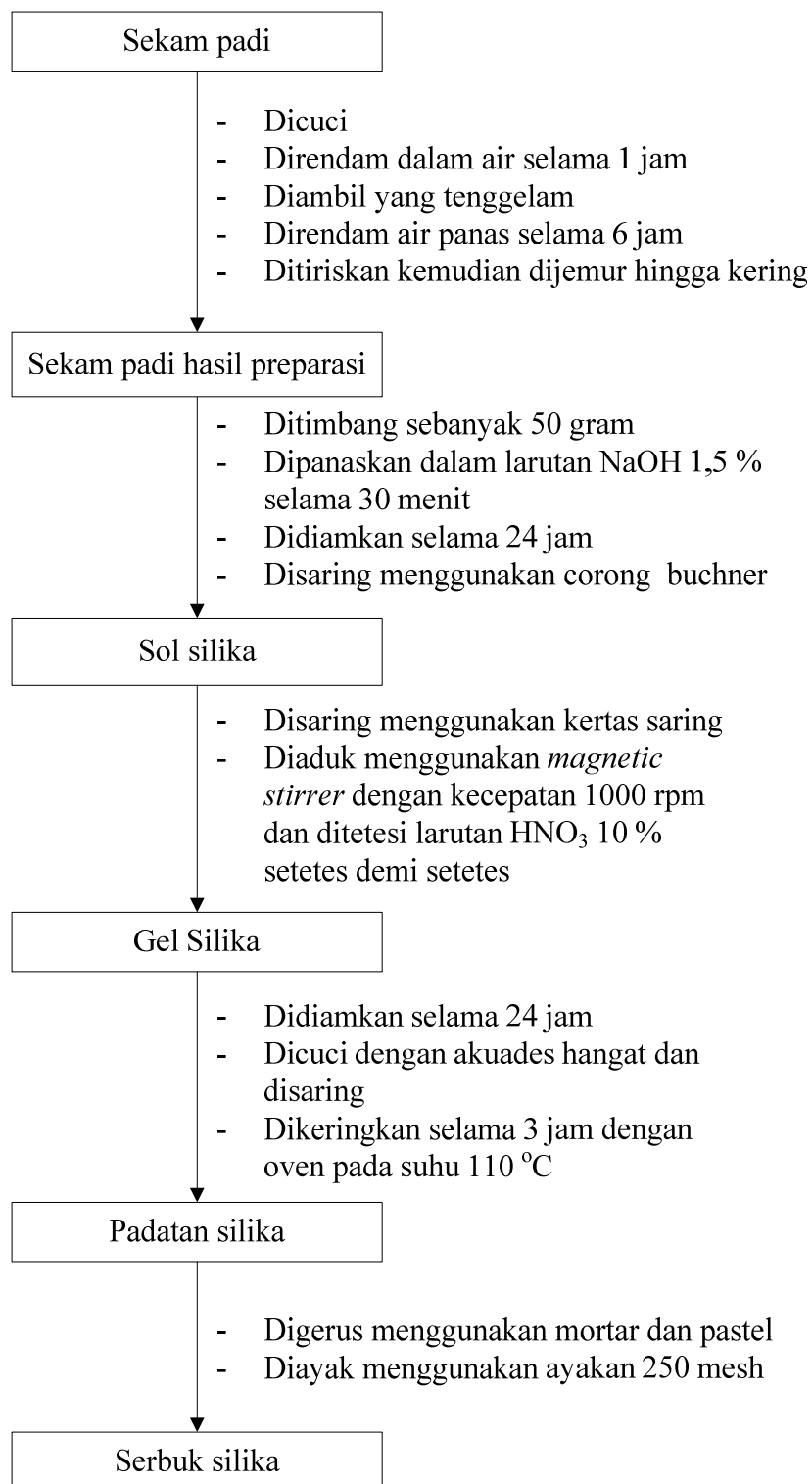
**d) Kuat Tekan**

Ketahanan paduan silika aspal terhadap beban yang mengenainya dapat dianalisis dengan mesin uji kompresi MTS Landmark dengan laju 0,1 mm/detik, sampel yang digunakan pada analisis ini berbentuk pelet. Langkah-langkah yang dilakukan antara lain:

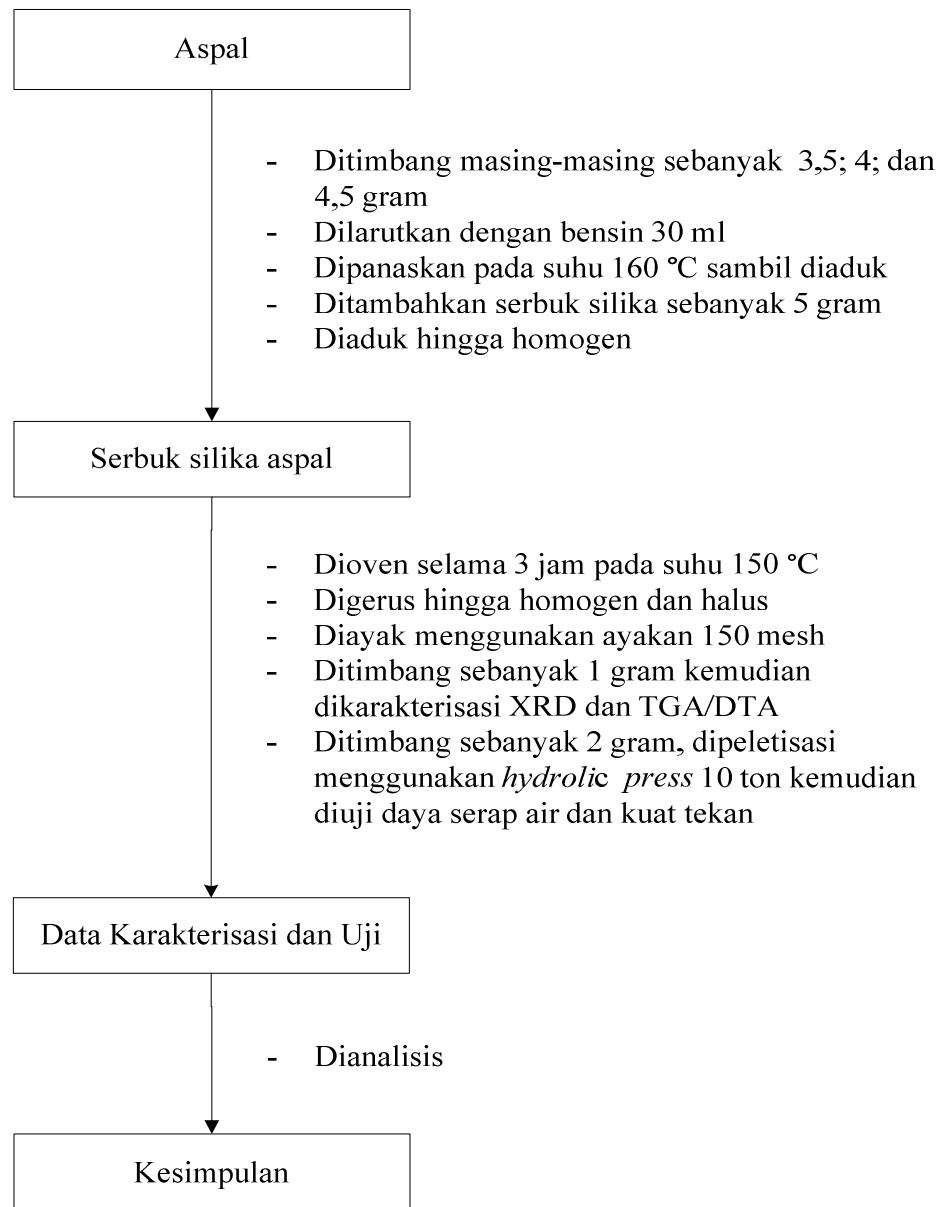
1. Sampel paduan diletakkan pada mesin tekan secara sentries;
2. Mesin tekan dijalankan dengan laju 0,1 mm/detik;
3. Pembebanan dilakukan hingga sampel menjadi hancur;
4. Beban maksimum yang diperoleh selama pengujian kemudian dicatat;
5. Mendokumentasikan bentuk kerusakan sampel paduan.

**D. Diagram Alir**

Secara garis besar, langkah kerja penelitian ini terbagi menjadi dua bagian yaitu preparasi dan ekstraksi silika sekam padi serta pembuatan dan karakterisasi sampel silika aspal. Proses dari masing-masing bagian terlihat pada Gambar 3.1 dan 3.2.



**Gambar 3.1.** Diagram alir preparasi dan ekstraksi silika sekam padi.



**Gambar 3.2.** Diagram alir pembuatan dan karakterisasi silika aspal.

## **IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

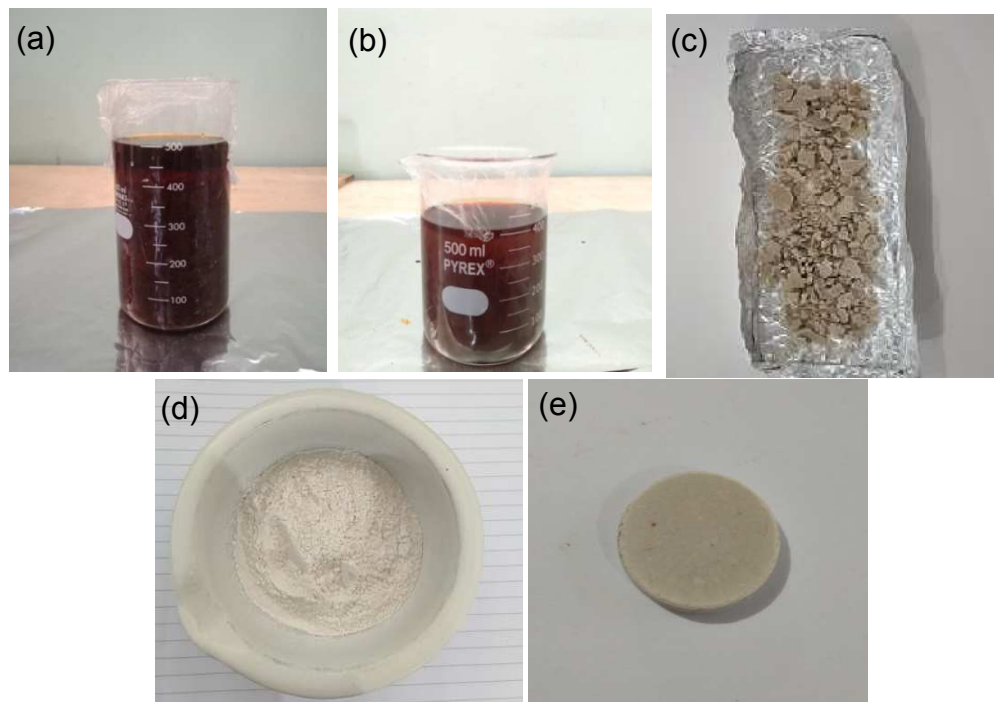
### **A. Pengantar**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur, sifat termal, fisis dan mekanik silika aspal dengan perbandingan massa yang digunakan 1:0; 1:0,7; 1:0,8; dan 1:0,9. Silika yang digunakan adalah silika hasil ekstraksi sekam padi menggunakan metode alkalis dengan bahan NaOH 1,5 % dan HNO<sub>3</sub> 10 %. Pembuatan paduan silika aspal dilakukan dengan melarutkan aspal menggunakan bensin pada suhu pencampuran 160 °C. Sampel silika aspal yang telah dibuat kemudian dipanaskan menggunakan oven pada suhu 150 °C selama 3 jam yang bertujuan untuk menghilangkan pelarut bensin dari sisa pencampuran. Sampel selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD dan TGA/DTA untuk mengetahui struktur dan sifat termal sampel, sedangkan untuk mengetahui sifat fisis sampel dilakukan pengujian daya serap air dan untuk mengetahui sifat mekanik sampel dilakukan pengujian kuat tekan.

### **B. Hasil Preparasi dan Ekstraksi Silika Sekam Padi**

Preparasi sampel paduan silika sekam padi dan aspal diawali dengan ekstraksi silika dari sekam padi menggunakan metode ekstraksi alkalis dan diperoleh hasil berupa sol silika yang berwarna coklat tua seperti yang terlihat pada Gambar 4.1(a). Warna coklat tua terbentuk karena dalam sekam padi mengandung selulosa dan lignin atau zat pengotor. Sol silika yang diberi larutan HNO<sub>3</sub> 10 % akan

berubah bentuk menjadi gel silika. Gel silika yang diperoleh masih berwarna coklat tua yang terlihat pada Gambar 4.1 (b), sehingga untuk membersihkan gel silika dari zat pengotor dilakukan pencucian menggunakan akuades hangat dan diperoleh gel silika bersih berwarna putih yang kemudian dilakukan pemanasan pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam hingga menghasilkan silika padatan yang terlihat pada Gambar 4.1 (c). Silika padatan yang diperoleh kemudian digerus dan diayak hingga menghasilkan serbuk silika yang halus dan homogen seperti terlihat pada Gambar 4.1 (d) serta dicetak sehingga berbentuk pelet seperti Gambar 4.1 (e).

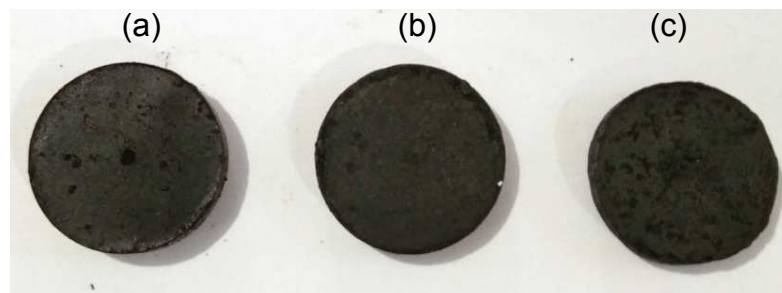


**Gambar 4.1.** (a) sol silika; (b) gel silika; (c) silika padatan; (d) silika serbuk; dan (e) pelet silika.

### C. Hasil Paduan Silika Aspal

Silika sekam padi hasil ekstraksi selanjutnya dicampur dengan aspal untuk dijadikan bahan paduan silika sekam padi dan aspal. Aspal kemudian dipanaskan dan dilarutkan dengan bensin sehingga aspal menjadi cair. Aspal yang cair

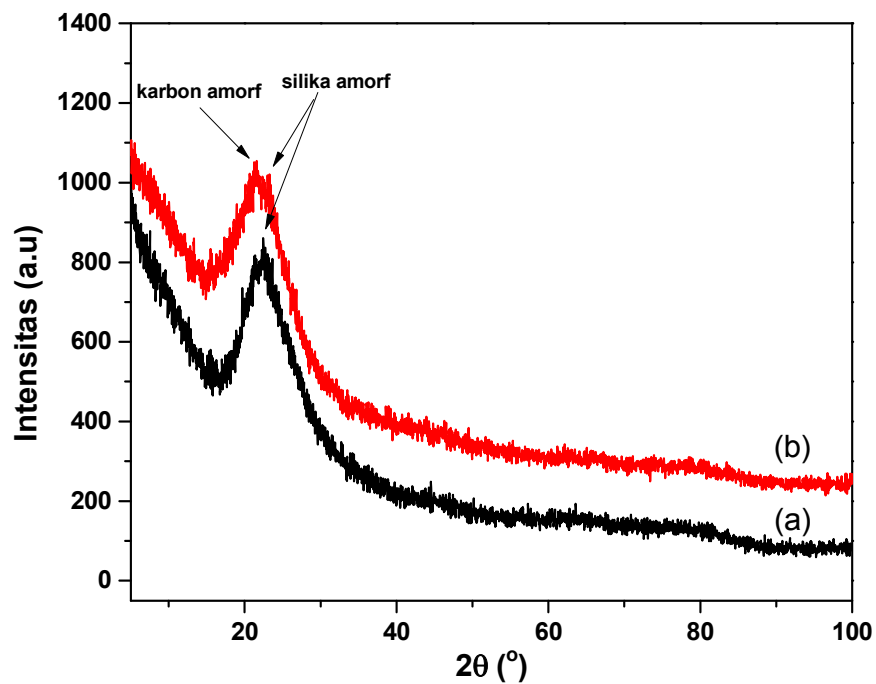
ditambahkan serbuk silika sekam padi sehingga menghasilkan serbuk paduan silika sekam padi dan aspal yang berwarna coklat kehitaman. Serbuk paduan silika sekam padi dan aspal kemudian dipanaskan menggunakan oven pada suhu 150 °C selama 3 jam. Serbuk paduan kemudian digerus dan diayak menggunakan ayakan 150 mesh agar dihasilkan serbuk paduan yang lebih halus dan homogen serta dicetak sehingga berbentuk pelet seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 (a); (b); dan (c).



**Gambar 4.2.** Pelet silika aspal (a) SA07; (b) SA08; dan (c) SA09.

#### **D. Hasil Analisis XRD**

Karakterisasi XRD bertujuan untuk menganalisis struktur yang terbentuk dari sampel. Hasil yang diperoleh yaitu difraktogram berupa deretan pola difraksi dengan intensitas yang relatif bervariasi sepanjang  $2\theta$  tertentu. Berikut ini difraktogram yang terbentuk dari sampel silika sekam padi tanpa aspal (SA0) serta paduan silika sekam padi dan aspal dengan perbandingan massa 1:0,7 (SA07) terlihat pada Gambar 4.3 (a-b).



**Gambar 4.3.** Difraktogram sampel (a) SA0; (b) SA07.

Berdasarkan analisis menggunakan *software Match! 3*, sampel SA0 pada Gambar 4.3 (a) memperlihatkan bahwa struktur yang terbentuk adalah amorf. Hasil tersebut ditandai dengan adanya pola difraksi yang lebar pada rentang  $2\theta = 19,72$ - $25,6^\circ$  dan intensitas tertinggi sekitar  $2\theta = 22,45^\circ$ , sesuai dengan penelitian Sheeraz *et al.* (2013) yang menjelaskan bahwa silika sekam padi yang dipanaskan pada suhu  $110^\circ\text{C}$  mempunyai struktur amorf. Selanjutnya sampel SA07 pada Gambar 4.3 (b) memperlihatkan adanya pola difraksi yang lebar pada rentang  $2\theta = 19,21$ - $24,65^\circ$ , di antara rentang tersebut terdapat sudut dengan intensitas tertinggi sekitar  $20,04^\circ$  dan  $22,56^\circ$  yang teridentifikasi sebagai karbon dan silika. Hal ini sesuai penelitian yang telah dilakukan Putri (2019) yang memperlihatkan bahwa hasil EDS pada sampel SA07 terdapat beberapa unsur antara lain karbon, silikon, sulfur, dan oksigen. Penambahan aspal juga menyebabkan persentase massa unsur karbon meningkat dari 50,29 % menjadi 52,84 % dan silikon menurun dari 19,88 % menjadi 18,27 %. Sementara itu, struktur yang dihasilkan pada sampel masih

dalam bentuk amorf. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Nazari *et al.* (2018) menyimpulkan bahwa pencampuran silika dan aspal akan menghasilkan struktur amorf.

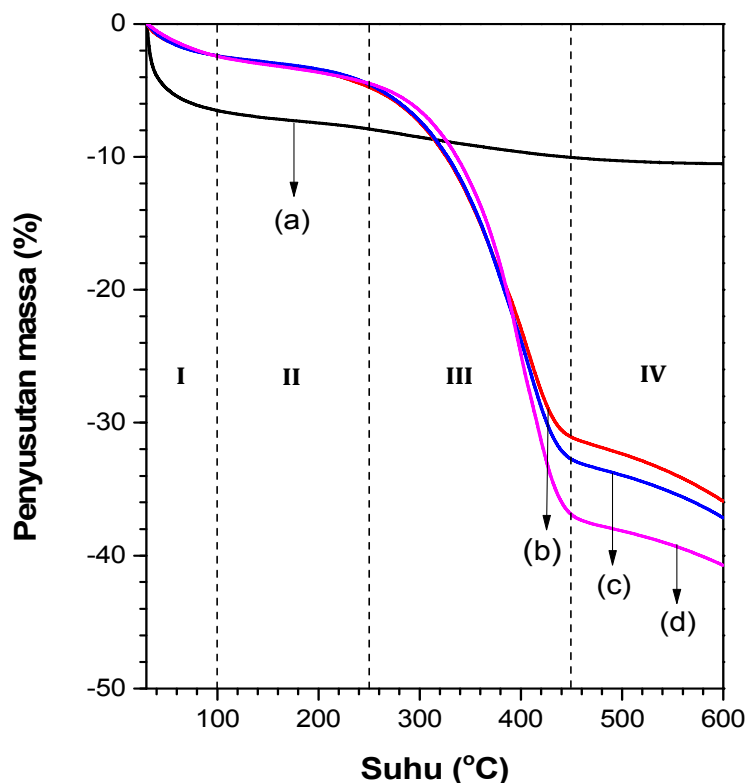
Berdasarkan difraktogram yang dihasilkan pada kedua sampel memperlihatkan bahwa tidak adanya perubahan struktur. Namun, pada sampel SA07 teridentifikasi adanya karbon selain silika yang mengindikasikan bahwa aspal telah berinteraksi dengan silika sekam padi. Selain itu, karena adanya penambahan aspal pada sampel SA07 intensitas yang terlihat lebih rendah jika dibandingkan dengan SA0.

#### **E. Hasil Analisis TGA/DTA**

Karakterisasi termal sampel menggunakan alat TGA/DTA menghasilkan dua grafik yaitu grafik TGA dan DTA. Grafik TGA menampilkan penyusutan massa terhadap suhu, sedangkan grafik DTA menampilkan peristiwa endotermik dan eksotermik karena perbedaan aliran panas (*heat flow*) antara sampel yang diuji dengan referensi. Karakterisasi dilakukan pada semua sampel yaitu SA0, SA07, SA08, dan SA09 kemudian grafik diolah menggunakan *software OriginPro 9.0*.

##### **1. Thermo Gravimetric Analysis (TGA)**

Grafik TGA untuk sampel SA0, SA07, SA08, dan SA09 terlihat pada Gambar 4.4 (a-d), kemudian persentase penyusutan massa pada semua sampel disajikan pada Tabel 4.1.



**Gambar 4.4.** Grafik TGA (a) SA0; (b) SA07; (c) SA08; dan (d) SA09.

Grafik TGA di daerah I dengan rentang suhu 30-100 °C memperlihatkan adanya penyusutan massa pada sampel silika maupun silika aspal. Penyusutan massa pada daerah ini mengindikasikan adanya penguapan air dan senyawa volatil pada sampel. Sampel SA0 lebih banyak mengalami penyusutan massa yaitu sekitar 6 %. Hal ini disebabkan karena pada proses ekstraksi silika dilakukan pemanasan hanya pada suhu 110 °C selama 3 jam sehingga memungkinkan masih terdapatnya kandungan air dalam sampel silika. Adanya kandungan air dalam sampel ini sesuai dengan hasil spektrum FTIR silika sekam padi, yaitu menunjukkan puncak serapan yang mengindikasikan adanya gugus fungsi molekul air (O-H) (Kalapathy *et al.*, 2000 dan Daifullah *et al.*, 2003). Berbeda dengan sampel SA07-SA09 yang mengalami penyusutan massa lebih rendah yaitu sekitar 2-2,5 %. Hal

ini disebabkan karena aspal sudah berinteraksi dengan silika sehingga mengakibatkan penyusutan massa pada proses penguapan air menjadi lebih sedikit. Di daerah II dengan rentang suhu 100-250 °C memperlihatkan adanya penyusutan massa yang tidak signifikan, penyusutan massa pada setiap sampel hanya sekitar 1-2 %. Penyusutan massa pada rentang ini mengindikasikan adanya penguapan air yang masih tersisa.

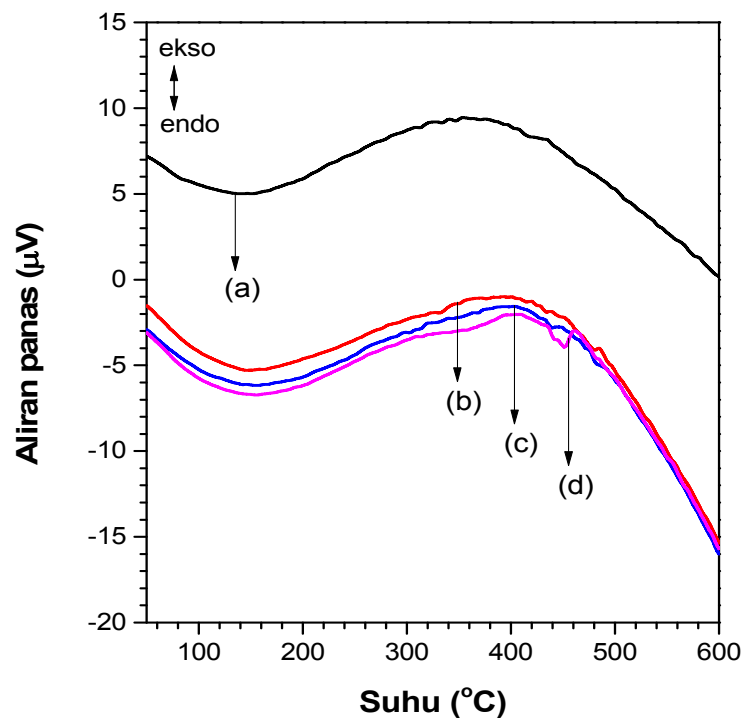
**Tabel 4.1.** Persentase penyusutan massa pada sampel.

| <b>Sampel</b> | <b>Suhu Awal<br/>(°C)</b> | <b>Suhu Akhir<br/>(°C)</b> | <b>Susut Massa<br/>(%)<br/>30-100<br/>°C</b> | <b>Susut Massa<br/>(%)<br/>100-250<br/>°C</b> | <b>Susut Massa<br/>(%)<br/>250-450<br/>°C</b> | <b>Susut Massa<br/>(%)<br/>450-600<br/>°C</b> | <b>Residu<br/>(%)</b> |
|---------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|
| SA0           | 100                       | 445                        | 6,35                                         | 1,39                                          | 2,15                                          | 0,48                                          | 89,48                 |
| SA07          | 77                        | 455                        | 2,37                                         | 2,35                                          | 26,34                                         | 4,90                                          | 64,03                 |
| SA08          | 80                        | 457                        | 2,36                                         | 2,14                                          | 28,22                                         | 4,47                                          | 62,81                 |
| SA09          | 78                        | 458                        | 2,39                                         | 2,06                                          | 32,42                                         | 3,89                                          | 59,24                 |

Di daerah III dengan rentang suhu 250-450 °C memperlihatkan penyusutan massa pada sampel silika hanya sekitar 2,15 %, sangat berbeda dengan sampel silika aspal yang mengalami penyusutan secara drastis hingga di atas 20 %. Penyusutan massa secara drastis pada sampel SA07-SA09 disebabkan karena terjadi proses dekomposisi asfaltene. Di daerah IV dengan rentang suhu 450-600 °C sampel tidak mengalami penyusutan massa yang signifikan dan mengindikasikan bahwa sampel silika aspal sudah mulai stabil. Berdasarkan data yang tersaji pada Tabel 4.1 terlihat bahwa penambahan aspal terhadap silika sekam padi mengakibatkan bertambahnya penyusutan massa, hal ini didukung dengan berkurangnya massa residu pada sampel SA07-SA09.

## 2. Differential Thermal Analysis (DTA)

Grafik DTA untuk sampel SA0, SA07, SA08, dan SA09 terlihat pada Gambar 4.5 (a-d).



**Gambar 4.5.** Grafik DTA (a) SA0; (b) SA07; (c) SA08; dan (d) SA09.

Grafik DTA untuk sampel SA0 yang terlihat pada Gambar 4.5 (a) dengan rentang suhu 30-200 °C terdapat puncak endotermik pada suhu 140 °C yang mengindikasikan terjadinya proses penguapan air dan senyawa volatil pada sampel. Di rentang suhu 300-450 °C terdapat puncak eksotermik pada suhu 354 °C yang mengindikasikan terjadinya dekomposisi silika menghasilkan ikatan Si-OH atau silanol. Sesuai dengan hasil penelitian Daifullah *et al.* (2003) yang menjelaskan bahwa ikatan tersebut terjadi akibat interaksi antara silika dengan air. Grafik DTA untuk sampel SA07-SA08 terlihat pada Gambar 4.5 (b-c),

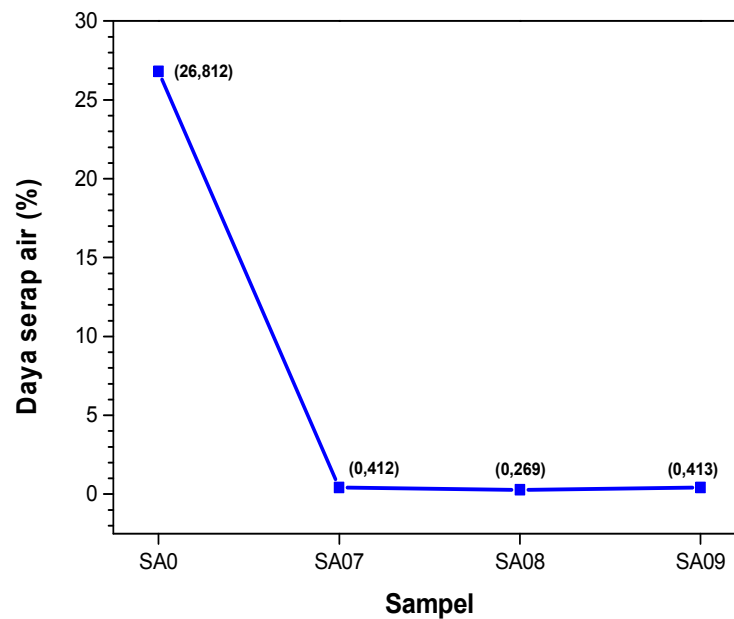
dengan rentang suhu 30-200 °C terdapat puncak endotermik secara berturut-turut pada suhu 149 dan 154 °C. Sementara itu, pada sampel SA09 yang terlihat pada Gambar 4.5 (d) dengan rentang suhu 300-500 °C terdapat dua puncak endotermik pada suhu 153 dan 452 °C. Kehadiran puncak endotermik mengindikasikan terjadinya proses penguapan molekul aspaltene dan senyawa volatil pada sampel. Di rentang suhu 300-450 °C sampel SA07-SA09 terdapat kehadiran puncak eksotermik secara berturut-turut pada suhu 391, 395 dan 401 °C yang mengindikasikan terjadinya dekomposisi aspal menghasilkan ikatan C=O atau karbonil dan ikatan C-H. Hal ini disebabkan oleh interaksi antara molekul H dan O dari air pada silika dengan molekul C pada aspal, sesuai dengan hasil penelitian paduan aspal silika oleh Sembiring *et al.* (2019).

Berdasarkan analisis DTA, sampel SA0 yang dibandingkan dengan sampel SA07-SA09 memperlihatkan terjadinya peningkatan suhu puncak endotermik. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel SA07-SA09 semakin sulit menyerap panas. Selain itu, terjadi peningkatan suhu drastis puncak eksotermik pada sampel SA07-SA08 sekitar 40 °C dan 50 °C pada sampel SA09. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan suhu dekomposisi yang mengindikasikan bahwa ketahanan suhu terhadap penguraian pada sampel meningkat.

## **F. Hasil Uji Fisis dan Mekanik**

### **1. Daya Serap Air**

Pengujian sifat fisis daya serap air dilakukan pada semua sampel yaitu SA0, SA07, SA08, dan SA09. Perhitungan nilai daya serap air menggunakan Persamaan 2.1. Hasil uji daya serap air terlihat pada Gambar 4.6.

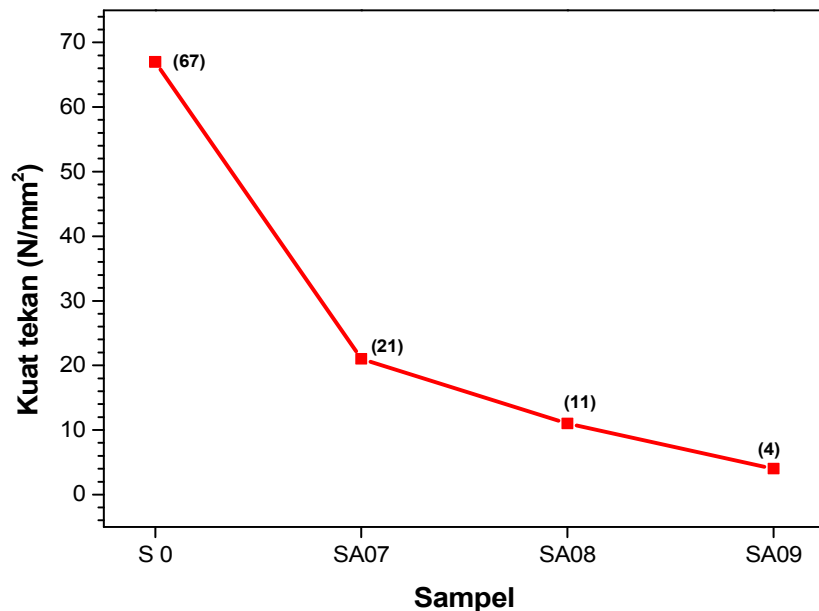


**Gambar 4.6.** Grafik hasil uji daya serap air.

Grafik pada Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa terjadi penurunan nilai daya serap air yang drastis dari sampel SA0 ke sampel SA07 sekitar 26 %, karena adanya penambahan aspal di dalam sampel. Sifat aspal yang hidropobik ketika ditambahkan ke dalam silika yang memiliki tingkat penyerapan tinggi terhadap molekul air akan mengakibatkan persentase penyerapan air pada sampel menurun. Pada sampel SA07-SA09 nilai daya serap air menurun secara perlahan-lahan sekitar 0,2-0,4 %, yang mengindikasikan bahwa aspal telah mengikat silika sekam padi dan menutupi pori pada permukaan sampel sehingga tidak mampu mengikat lebih banyak molekul air. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Budiawati (2019) yang menyimpulkan bahwa nilai daya serap air semakin menurun apabila silika yang ditambahkan ke dalam aspal semakin sedikit. Berdasarkan hasil uji daya serap air menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya konsentrasi aspal maka nilai daya serap air semakin menurun.

## 2. Kuat Tekan

Pengujian sifat mekanik kuat tekan dilakukan pada semua sampel yaitu SA0, SA07, SA08, dan SA09 yang terlihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7.** Grafik hasil uji kuat tekan.

Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa penambahan aspal terhadap silika sekam padi mengakibatkan nilai kuat tekan menurun. Sampel SA0 memiliki nilai kuat tekan paling tinggi dibandingkan dengan sampel lain sebesar 67 N/mm<sup>2</sup>. Hal ini sesuai dengan karakteristik silika sekam padi yaitu memiliki kekerasan yang tinggi (Brinker dan Scherer, 1990). Pada sampel SA07-SA09 nilai kuat tekan menurun sekitar 21-4 N/mm<sup>2</sup>. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Ardaniwari (2019) yang menyimpulkan bahwa nilai kuat tekan semakin menurun apabila aspal yang ditambahkan semakin banyak. Hal ini disebabkan karena aspal memiliki sifat viskoelastis, sehingga nilai kuat tekan semakin menurun seiring meningkatnya konsentrasi aspal.

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- Hasil analisis XRD sampel SA0 dan SA07 memperlihatkan terbentuknya struktur amorf yang sama. Penambahan aspal terhadap silika menyebabkan terbentuknya karbon amorf, pergeseran  $2\theta$  silika amorf dari rentang 19,72-25,6 ke 19,21-24,65° dan intensitas tertinggi bergeser dari  $2\theta$  sebesar 22,45 ke 22,56°.
- Hasil analisis TGA memperlihatkan bahwa penambahan aspal terhadap silika sekam padi mengakibatkan penyusutan massa hingga 32 % pada sampel SA07-SA09. Sementara hasil analisis DTA memperlihatkan bahwa sampel SA07-SA09 terdapat peningkatan suhu endotermik (149, 154, dan 153 °C) dan eksotermik (391, 395, dan 401 °C), yang mengindikasikan bahwa sampel semakin sulit menyerap panas dan ketahanan suhu terhadap penguraian pada sampel meningkat.
- Hasil uji sifat fisis dan mekanik memperlihatkan bahwa seiring dengan meningkatnya massa aspal menyebabkan penurunan nilai daya serap air hingga 0,2 % dan kuat tekan hingga 4 N/mm<sup>2</sup>.

**B. Saran**

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis perbandingan massa aspal dengan silika sekam padi terhadap struktur dan sifat termal silika aspal menggunakan variasi suhu sintering setelah sampel dipelet.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F., Chew, T. S., dan Andas, J. 2011. A simple template-free sol-gel synthesis of spherical nanosilica from agricultural biomass. *Journal Sol-Gel Sci Technol.* 59: 580-583.
- Alayande, S. O., Dare, E. O., Ayinde, W. B., Bamigbose, J., Ayedun, P. A., dan Osinkolu, G. A. 2012. Development of ordered and disordered macroporous silica from bagasse ash. *Full Length Research Paper.* 6(1): 10-14.
- Aminullah, Rohaeti, E., dan Irzaman. 2015. Reduction of high purity silicon from bamboo leaf as basic material in development of sensors manufacture in satellite technology. *Procedia Environmental Sciences.* 24: 308-316.
- Ardaniswari, D. W. 2019. Pengaruh penambahan aspal terhadap karakteristik termal, struktur fasa, sifat fisis dan mekanik silika sekam padi. *Skripsi.* Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Arifin, M. Z., Wicaksono, A., dan Pewastri, K. 2008. Pengaruh penurunan suhu (dengan dan tanpa pemanasan ulang) terhadap parameter marshall campuran aspal beton. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil.* 2(2).
- Asiyanto. 2010. *Metode Konstruksi Proyek Jalan.* Jakarta: UI Press.
- Askeland, D. R. dan Fulay, P. P. 2009. *Essentials of Materials Science and Engineering Second Edition.* United States of America: RPK Editorial Services, Inc.
- Bakar, R. A., Yahya, R., dan Gan, S. N. 2016. Production of high purity amorphous silica from rice husk. *Procedia Chemistry.* 19: 189-195.
- Beck, J. S., Schmitt, K. D., Higgins, J. B., dan Schlenkert, J. L. 1992. A new family of mesoporous molecular sieves prepared with liquid crystal templates. *Journal American Chemical Society.* (14): 10834–10843.
- Brinker, C. J. dan Scherer, G. W. 1990. *Sol Gel Science The Physics and Chemistry of Sol Gel Processing.* United States of America: Academic Press.

- Budiawati, L. 2019. Pengaruh penambahan silika sekam padi terhadap sifat fisik dan struktur fasa aspal. *Skripsi*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Carmona, V. B., Oliveira, R. M., Silva, W. T. L., Mattoso, L. H. C., dan Marconcini, J. M. 2013. Nanosilica from rice husk: Extraction and characterization. *Industrial Crops and Products*. 43: 291-296.
- Chandrasekhar, S., Pramada, P., Raghavan, P., dan Satyanarayana, K. 2002. Microsilica from rice husk as a possible substitute for condensed silica fume for high performance concrete. *Journal of Materials Science Letters*. 21: 1245-1247.
- Cordeiro, G. C. dan Sales, C. P. 2015. Pozzolanic activity of elephant grass ash and its influence on the mechanical properties of concrete. *Cement and Concrete Composites*. 55: 331-336.
- Cullity, B. D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction Second Edition*. Philippines: Addition-Wesley Publishing Company, Inc. 555 halaman.
- Daifullah, A. A. M., Girgis, B. S., dan Gad, H. M. H. 2003. Utilization of agro-residues (rice husk) in small waste water treatment plans. *Materials Letters*. 57: 1723-1731.
- Della, V. P., Kun, I., dan Hotza, D. 2002. Rice husk ash as an alternate source for active silica production. *Materials Letters*. 57(12): 818-821.
- Enieb, M. dan Diab, A. 2017. Characteristics of asphalt binder and mixture containing nanosilica. *International Journal of Pavement Research and Technology*. 1-10.
- Fadli, A. F., Tjahjanto, R. T., dan Darjito. 2013. Ekstraksi silika dalam lumpur Lapindo menggunakan metode kontinyu. *Kimia Student Journal*. 1(2): 182-187.
- Fini, E. H., Hajikarimi, P., Rahi, M., dan Nejad, F. M. 2015. Characteristics of asphalt binder in the presence of mesoporous silica nanoparticles. *Journal Material Civil Engineering*. 1-9.
- Haslinawati, M., Matori, K., Wahab, Z., Sidek, H., dan Zainal, A. 2009. Effect of temperature on ceramic from rice husk ash. *International Journal of Basic & Applied Sciences*. 9(9):22-25.
- Haynes, W. M. 2011. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Boca Raton: CRC Press.
- James, J. dan Rao, M. S. 1986. Silica from rice husk through thermal decomposition. *Thermochimica Acta*. 97: 329-336.

- Kalapathy, U., Proctor, A., dan Shultz, J. 2000. A simple method for production of pure silica from rice husk ash. *Bioresource Technology*. 73: 257-262.
- Kow, K., Yusoff, R., Aziz, A. R. A., dan Abdullah, E. C. 2014. Characterisation of biosilica synthesised from cogon grass (*Imperata cylindrica*). *Journal of Powder Technology*. 254: 206-213.
- Krebs, R. D. dan Walker, R. D. 1971. *Highway Materials*. USA: McGraw Hill Book Company.
- Lu, P. dan Hsieh, Y. 2012. Highly pure amorphous silica nano-disks from rice straw. *Powder Technology*. 225: 149-155.
- Mohanraj, K., Kannan, S., Barathan, S., dan Sivakumar, G. 2012. Preparation and characterization of nano SiO<sub>2</sub> cob ash by precipitation method. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Rapid Communications*. 6(34): 394-397.
- Mourhly, A., Khachani, M., Hamidi, A. E., dan Kacimi, M. 2015. The synthesis and characterization of low-cost mesoporous silica SiO<sub>2</sub> from local pumice rock. *Nanomaterials and Nanotechnology*. 5(35): 1-7.
- Nazari, H., Naderi, K., dan Nejad, F. M. 2018. Improving aging resistance and fatigue performance of asphalt binder using inorganic nanoparticles. *Construction and Building Materials*. 170:591-602.
- Oglesby, C. H. dan Hicks, R. G. 1996. *Teknik Jalan Raya*. Jakarta: Erlangga.
- Ouyang, C., Wang, S., Zhang, Y., dan Zhang, Y. 2005. Low density polyethylene/silica compound modified asphalts with high temperature storage stability. *Journal of Applied Polymer Science*. 101(6): 72-479.
- Pandiangan, K. D., Suka, I. G., Rilyanti, M., Widiarto, S., Anggraini, D., Arief, S., dan Jamarur, N. 2008. Karakteristik keasaman katalis berbasis silika sekam padi yang diperoleh dengan teknik sol-gel. *Seminar Sains dan Teknologi (SATEK II)*. (halaman 342-353). Bandar Lampung: FMIPA Universitas Lampung.
- Putri, I. S. 2019. Analisis struktur fasa dan struktur mikro komposit silika sekam padi dengan variasi penambahan aspal (1:0,7; 1:0,8; 1:0,9). *Skripsi*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Rashid, R. A., Shamsudin, R., Azmi, M., Hamid, A., dan Jalar, A. 2014. Low temperature production of wollastonite from limestone and silica sand through solid-state reaction. *Integrative Medicine Research*. 2(1): 77-81.

- Read, J. dan Whiteoak, D. 2003. *The Shell Bitumen Hand Book Fifth Edition*. London: Thomas Telford.
- Sembiring, S. dan Karo Karo, P. 2007. Pengaruh suhu sintering terhadap karakteristik termal dan mikrostruktur silika sekam padi. *Jurnal Sains MIPA*. 13(3): 233-239.
- Sembiring, S., Riyanto, A., Situmeang, R., dan Sembiring, Z. 2019. Bituminous composite comprising amorphous silica. *Ceramics-Silikaty*. 63(3): 277-286.
- Senff, L., Labrincha, J. A., Ferreira, V. M., Hotza, D., dan Repette, W. L. 2009. Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars. *Construction and Building Materials*. 23(7): 2487-2491.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Mudzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material; Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung: UPI Press.
- Sheeraz, N., Zulkifli, C., Rahman, I. A., Mohamad, D., dan Husein, A. 2013. A green sol-gel route for the synthesis of structurally controlled silica particles from rice husk for dental composite filler. *Ceramics International*. 39(4): 4559-4567.
- Shinohara, Y. dan Kohyama, N. 2004. Quantitative analysis of tridymite and cristobolite crystallized in rice husk ash by heating. *Industrial Health*. 42:77-285.
- Simanjuntak, W., Sembiring, S., Pandiangan, K. D., Syani, F., dan Situmeang, R. T. 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*. 32(4): 2079-2085.
- Smykatz-Kloss, W. 1974. *Differential Thermal Analysis Application and Results in Mineralogy*. New York: Springer-Verlag.
- Suka, I. G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., dan Trisnawati, E. 2008. Karakteristik silika sekam padi dari provinsi lampung yang diperoleh dengan metode ekstraksi. *Jurnal MIPA*. 37: 47-52.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas Edisi 1*. Jakarta: Granit.
- Sulastri, S. dan Kristianingrum, S. 2010. Berbagai macam senyawa silika: sintesis, karakterisasi dan pemanfaatan. *Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. (halaman 211-215). Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sun, L. dan Gong, K. 2001. Silicon based materials from rice husks and their applications. *Journal of Industrial Engineering Chemistry*. 40(25): 5861-5877.

- Todkar, B. S., Deorukhkar, O. A., dan Deshmukh, S. M. 2016. Extraction of silica from rice husk. *International Journal of Engineering Research and Developmen*. 12(3): 69-74.
- Xiaoming, L. I. U., Fengjie, C. A. O., Lei, W., Ruwei, T. A. O., dan Tingyu, L. I. 2017. Road performances of mesoporous nano-silica modified asphalt binders. *Journal of Wuhan University of Technology Material Science Education*. 32(4): 845–853.
- Yao, H., You, Z., Li, L., Lee, C. H., Winggard, D., dan Yap, Y. K. 2013. Rheological propertis and chemical bonding of asphalt modified with nanosilica. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 25: 1619-1630.
- Yusoff, N. I., Breem, A. A., Alattug, H. N., dan Hamim, A. 2014. The effects of moisture susceptibility and ageing conditions on nano-silica/polymer-modified asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*. 72: 139-147.
- Zhang, K., Luo, Y., Wang, Y., Li, W., dan Yu, G. 2019. Material optimization and optimum asphalt content design of asphalt mixture in salty and humid environment. *Construction and Building Materials*. 196: 703-713.
- Zulfiqar, U., Subhani, T., dan Husain, S. W. 2016. Synthesis and characterization of silica nanoparticles from clay. *Journal of Asian Ceramic Societies*. 4: 91-96.