

**KARAKTERISTIK STRUKTUR DAN TERMAL ASPAL-KARBOSIL  
KOMPOSIT**

**Tesis**

**Oleh  
LIYANA MARDOVA**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## **ABSTRAK**

### **KARAKTERISTIK STRUKTUR DAN TERMAL ASPAL-KARBOSIL KOMPOSIT**

**Oleh**

**LIYANA MARDOVA**

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi komposit aspal karbosil dengan variasi komposisi aspal karbosil yaitu 1:9; 1,5:8,5; 2:8; 2,5:7,5; 3:7 dan perbandingan untuk karbosil murni tanpa penambahan aspal. Karbosil didapatkan dari limbah sekam padi dengan menggunakan metode pirolisis. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh struktur dan termal komposit aspal karbosil. Hasil Analisis XRD terbentuk dari setiap variasi komposisi adalah fasa amorf. Analisis DTA/TGA menunjukkan terjadinya perubahan energi akibat penambahan panas dengan ditandai adanya penyusutan massa pada sampel. Hasil uji meknik kuat tekan menunjukkan bahwa kekuatan komposit aspal karbosil dengan berbeda komposisi bahan mempengaruhi ketahanan terhadap keretakan. Hasil uji fisis porositas dan perubahan ketebalan menunjukkan dengan penambahan variasi komposisi aspal dan karbosil mengakibatkan menurunnya nilai porositas dan perubahan ketebalan. Uji mekanik dan fisis perbandingan aspal karbosil yang baik adalah pada perbandingan komposisi 3:7 pada komposisi tersebut memiliki porositas dan perubahan ketebalan yang paling kecil sehingga lebih tahan retakan sesuai dengan hasil uji kuatkan yaitu sebesar 18,408 N/mm<sup>2</sup>.

**Kata kunci:** karbosil, aspal, pirolisis, XRD, dan DTA/TGA.

## **ABSTRACT**

### **STRUCTURAL AND THERMAL CHARACTERISTICS OF ASPHALT-CARBOSIL COMPOSITE**

**By**

**LIYANA MARDOVA**

In this study, the characterization of the carbosil asphalt composite was carried out with variations in the composition of the carbosil asphalt, namely 1:9; 1.5:8.5; 2:8; 2.5:7.5; 3:7 and the ratio for pure carbosil without the addition of asphalt. Carbosil was obtained from rice husk waste by using the pyrolysis method. This research was conducted to determine the structural and thermal effects of carbosil asphalt composites. The results of XRD analysis formed from each variation of the composition was an amorphous phase. The DTA/TGA analysis shows that there is a change in energy due to the addition of heat, which indicated by the presence of mass shrinkage in the sample. The results of the mechanical compressive strength test show that the strength of the carbosil asphalt composite with different material compositions affects the resistance to cracking. The results of the physical test of porosity and changes in thickness showed that the addition of variations in the composition of asphalt and carbosil resulted in a decrease in the value of porosity and changes in thickness. The mechanical and physical test of a good ratio of carbosil asphalt is that the composition ratio of 3:7 in the composition has the smallest porosity and thickness changes so that it is more resistant to cracking according to the results of the reinforcement test, which is 18.408 N/mm<sup>2</sup>.

*Keywords:* carbosil, asphalt, pyrolysis, XRD, and DTA/TGA.

**KARAKTERISTIK STRUKTUR DAN TERMAL ASPAL-KARBOSIL  
KOMPOSIT**

**Oleh**

**Liyana Mardova  
1927041007**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
MAGISTER SAINS  
Pada  
Program Studi Magister Fisika  
Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

Judul Tesis : **Karakteristik Struktur dan Termal Aspal-Karbosi Komposit**

Nama Mahasiswa : **Tiyana Mardova**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1927041007

Jurusan : Fisika

Program Studi : Magister Fisika

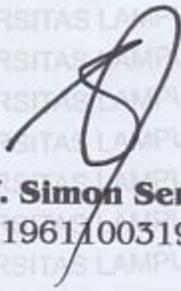
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

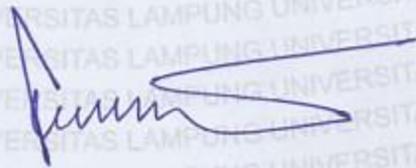
  
**Prof. Simon Sembiring, Ph.D.**  
NIP. 196110031991031002

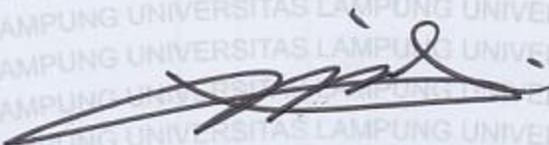
  
**Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**  
NIP. 198206182008121001

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika

Ketua Program Studi  
Magister Fisika

  
**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 198010102005011002

  
**Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**  
NIP. 198206182008121001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

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

**Sekretaris : Dr. Junaldi, S.Si., M.Sc.** .....

**Penguji Anggota : 1. Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, M.Si.** .....

**2. Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.** .....

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

**Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M. T.**

**NIP. 19740705 200003 1 001**

**3. Direktur Program Pascasarjana**

**Prof. Dr. Ahmad Soudi Samosir, S.T., M.T.**

**NIP. 19710415 199803 1 005**

**Tanggal Lulus Ujian Tesis: 20 September 2021**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini yang berjudul “**Karakteristik Struktur dan Termal Aspal-Karbosil Komposit**” 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 tesis ini dibuat oleh saya sendiri.

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



Lampung, 30 September 2021

Liyana Mardova  
NPM 1927041007

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Oku Timur, pada tanggal 9 September 1996 dari pasangan Bapak Burhan dan Ibu Hasnidayati sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menyelesaikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Kurungan Nyawa tahun 2008, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Buay Madang pada tahun 2011,

dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Buay Madang pada tahun 2014. Pada tahun 2018 penulis menyelesaikan pendidikan Strata-1 di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Tahun 2019 penulis melanjutkan Program Magister Fisika dengan penelitian Karakteristik Struktur dan Termal Aspal-Karbosil Komposit di Program Studi Magister Fisika, Universitas Lampung.

## MOTTO

**“BALAS DENDAM TERBAIK ADALAH KESUKSESAN  
YANG HAKIKI”**

“Sukses adalah saat persiapan dan kesempatan bertemu” Bobby  
Unser.

“Tidak ada kesuksesan melainkan dengan pertolongan ALLAH.”  
“QS. Huud: 88”

## **PERSEMBAHAN**

Dengan ketulusan dan rasa syukur kepada Allah SWT kupersembahkan karya ini kepada:

### **KEDUA ORANG TUA KU TERCINTA**

“ Motivator terhebat dalam hidupku dan adik-adik ku yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, semangat serta mendo’akan kesuksesan dan keberhasilanku”

“Keluarga besar, sahabat dan rekan terbaik dalam hidup”

**“Almamater Tercinta Universitas Lampung”**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin. Segala puji hanya milik Allah SWT atas limpahan rahmat, kesehatan dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "**Karakteristik Struktur dan Termal Aspal-Karbosil Komposit**". Adapun tujuan utama penulisan tesis ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Sains dari Universitas Lampung.

Penulis menyadari dalam penulisan tesis ini masih banyak kekurangan dalam penulisan dan penyusunan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi semua.

Bandar Lampung, 30 September 2021

Penulis,

**Liyana Mardova**

## SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Rabb semesta alam yang menciptakan langit dan bumi serta penguasa atas semua makhluk. Alhamdulillah penulis masih diberikan kesempatan untuk mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan penulisan tesis ini, maka penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua penulis, Ayah dan Ibu tercinta (Bapak Burhan dan Ibu Hasnidayati) yang selalu mendo'akan kebaikan bagi penulis.
2. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D., sebagai Pembimbing Akademik sekaligus Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan selama penelitian, dan memberikan arahan dalam penyelesaian tesis penulis.
3. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., sebagai Pembimbing II dan sekaligus selaku Ketua Program Studi Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang memberikan masukan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, M.Si., sebagai Penguji I yang telah memberi kritik dan saran kepada penulis selama penulisan tesis dan selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D., sebagai Penguji II yang telah memberi kritik dan saran kepada penulis selama penulisan tesis.

6. Rektor Universitas Lampung Prof. Dr. Karomani M.Si.
7. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.
8. Direktur Program Pascasarjana Prof. Dr. Ahmad Soudi Samosir, S.T., M.T..
9. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
10. Adik-adik ku Icha Agustina dan Ulan Triana Monica yang telah mendo'akan dan memberi semangat.
11. Teman seperjuangan penelitian Endah Ayu Ningtias, Devi Yulianti, dan Lady Permatasari yang sampai saat ini selalu memberi masukan maupun sebagai tempat diskusi dan Angkatan 2019 Program Pascasarjana Fisika: Erika, Hanif, David, Adi dan Kusno yang membantu dan memberikan semangat penulis.
12. Sahabat-sahabatku Adeliya Ayu A , Amilia Rasitiani, dang yang ku kasihi dan mengasihiku Zulkarnain yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan dukungan, bantuan dan menjadi pendengar yang baik.

Semoga Allah SWT senantiasa memberi rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, September 2021

Penulis,

Liyana Mardova

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	vii
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	viii
<b>MOTTO</b> .....	ix
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>SANWACANA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTARGAMBAR</b> .....	v
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Tujuan Penelitian .....	5
D. Batasan Masalah .....	5
E. Manfaat Penelitian .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Sekam Padi dan Silika dari Sekam Padi .....	7
1. Sekam Padi .....	7
2. Silika .....	8
3. Silika dari Sekam Padi .....	11

4. Karbosil .....	13
B. Metode Pirolisis .....	15
1. Prinsip Pirolisis .....	16
2. Perolehan Karbosil dari Sekam Padi .....	16
C. Aspal.....	17
1. Karakteristik Aspal.....	18
2. Aspal Modifikasi .....	19
D. Aspal Komposit .....	21
E. Karakterisasi .....	23
1. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	23
2. <i>Differential Thermal Analysis/Thermo Gravimetical Analysis (DTA/TGA)</i> .....	26
3. Kuat Tekan .....	32
4. Porositas .....	33
5. Pengembangan Tebal ( <i>Swelling Thickness</i> ) .....	34

### III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
B. Alat dan Bahan.....	36
1. Alat.....	36
2. Bahan .....	37
C. Preparasi Sampel.....	37
1. Preparasi Sekam Padi.....	37
2. Preparasi Karbosil.....	37
3. Pembuatan Paduan Aspal-Karbosil .....	38
4. Pembuatan Pelet Paduan Aspal-Karbosil .....	38
D. Karakterisasi .....	39
1. Karakterisasi XRD .....	39
2. Karakterisasi DTA/TGA.....	39
3. Pengujian Kuat Tekan.....	39
4. Porositas .....	40
5. Pengembangan Tebal ( <i>Swelling Thickness</i> ) .....	41
E. Diagram Alir .....	41

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengantar .....	45
B. Hasil preparasi karbosil .....	45

C. Hasil Paduan Aspal Karbosil .....	46
D. Karakterisasi X-Ray Diffraction(XRD) .....	48
E. Karakterisasi <i>Differential Thermal Analysis – Thermo Gravimetical Analysis</i> (DTA-TGA) .....	51
F. Uji Kuat Tekan .....	57
G. Porositas .....	58
H. Pengembangan Ketebalan .....	60

## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	62
B. Saran .....	63

## **DAFTAR PUSTKA**

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
2.1. Komposisi utama sekam padi.....	7
2.2. Karakteristik silika .....	9
2.3. Kristal utama silika dengan rentang stabilitas, struktur dan densitas .....	10
2.4. Komposisi senyawa sekam padi .....	12
2.5. Kandungan utama arang sekam padi.....	14
2.6. Komposisi kimia aspal .....	18
4.1. Komposisi massa aspal dan karbosil.....	47
4.2. Komposisi massa karbosil dan aspal .....	54
4.3. Hasil uji porositas .....	59
4.4. Hasil uji perubahan ketebalan. ....	61

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
2.1. Struktur silika .....	8
2.2. Struktur kristal silika (SiO <sub>2</sub> ) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA .....	11
2.3. Kurva perubahan termal/kehilangan massa silika sekam padi.....	13
2.4. Alat pirolisis .....	16
2.5. Aspal .....	18
2.6. Proses pembentukan sinar-X dalam tabung elektron .....	23
2.7. Skema difraksi sinar-X .....	24
2.8. Skematik instrumen DTA .....	28
2.9. Skematis peralatan TGA .....	29
2.10. Hasil analisis DTA .....	30
2.11. Hasil analisis TGA .....	31
2.12. Alat uji kuat tekan .....	33
3.1. Diagram alir preparasi sekam padi.....	42
3.2. Diagram alir preparasi karbosil.....	43
3.3. Diagram alir paduan aspal-karbosil .....	44
4.1. Preparasi karbosil (a) hasil preparasi sekam padi, (b) proses pirolisis, (c) karbosil kasar dari proses pirolisis, (d) Karbosil ditumbuk dengan mortar dan alu, (e) serbuk karbosil .....	46

4.2. Proses paduan aspal karbosil (a) melelehkan aspal, (b) melarutkan aspal dengan bensin dan ditambahkan karbo soil, (c) paduan aspal karbosil di oven, (d) paduan aspal karbosil di press untuk dibentuk pelet ...	47
4.3. Hasil pelet paduan aspal karbosil .....	48
4.4. Difaktogram Sampel Aspal Karbosil (a) Sampel AK1 perbandingan 0:1; (b) Sampel AK2 perbandingan 1:9; (c) Sampel AK3 perbandingan 1,5:8,5; (d) Sampel AK1 perbandingan 2:8; (e) Sampel AK5 perbandingan 2,5:7,5; (f) Sampel AK6 perbandingan 3:7 .....	48
4.5. Menunjukkan hasil uji TGA pada sampel AK1, AK2, AK3, AK4, AK5 dan AK6 .....	52
4.6. Menunjukkan hasil uji DTA pada sampel AK1, AK2, AK3, AK4, AK5 dan AK6 .....	55
4.7. Hasil uji kuat tekan.....	57
4.8. Grafik hasil uji porositas .....	59
4.9. Grafik hasil pengukuran ketebalan .....	60

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Aspal merupakan bahan material yang berwarna hitam atau coklat, memiliki sifat viskoelastis, kedap air (hidrofobik), memiliki daya adhesi dan kohesi yang baik (Becker *et al.*, 2001). Secara umum komposisi aspal terdiri dari dua jenis senyawa yang dominan, yaitu *asphaltenes* dan *maltenes*. *Asphaltenes* yaitu senyawa berwarna hitam atau coklat tua yang mengandung karbon 79 – 88%, hidrogen 7 – 13%, sulfur 8%, nitrogen 3%, dan senyawa oksigen 2 – 8%. *Maltenes* mengandung senyawa *saturates*, *aromatic* dan *resins* (Readet *et al.*, 2003). Aspal diperoleh dari sisa hasil (residu) distilasi minyak bumi (Wignall, 1999). Aspal bersifat termoplastis, jika dipanaskan sampai suhu tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair dan jika suhu mulai turun aspal akan mengeras kembali. Sifat termoplastis ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengikat (Sukirman, 2003). Selain itu, menurut Hillstrom and Ruby (1994) aspal memiliki sifat kedap terhadap air (*hydrophobic*), tahan terhadap kerusakan dan pembusukan. Aspal biasanya menggunakan bahan aditif untuk meningkatkan atau memperbaiki sifat fisis aspal seperti penetrasi, kekentalan, dan titik leleh. Beberapa bahan aditif yang digunakan yaitu *polyethylene* (PE) (Ho *et al.*, 2006), *Styrene Butadiene styrene* (SBS), dan *Styrene Butadiene Rubber* (SBR) (Yildirim, 2007). Selain bahan tersebut aspal juga dapat dimodifikasi dengan komposit seperti

silika fume dan silika (Ouyang *et al.*, 2015). Silika merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul  $\text{SiO}_2$ . Silika dapat diperoleh dari tongkol jagung (Chanadee and Chaiyarat, 2016), daun bambu (Aminullah *et al.*, 2015), ampas tebu (Norsuraya *et al.*, 2016), dan sekam padi (Bakar *et al.*, 2016; Simanjuntak *et al.*, 2016; Sembiring and Karo Karo, 2007; dan Kalapathy *et al.*, 2000). Sekam padi merupakan bahan buangan atau bahan sisa yang diperoleh dari proses penggilingan padi. Sekam padi mempunyai komposisi utama, yaitu lignin (9-20%), selulosa (28-38%), protein (1,9-3%), dan silika (18,8-22,3%) (Johnson and Yunus, 2009). Komposisi silika yang terdapat dalam sekam padi cukup tinggi sehingga sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika.

Keunikan dari silika sekam padi berdasarkan sifat fisisnya yaitu kestabilan termal, kekerasan, dan homogenitas yang tinggi (Brinker and Scherer, 1990). Menurut Malik (2002) silika memiliki kerapatan  $2,6 \text{ g/cm}^3$  dan mempunyai stabilitas termal yang tinggi hingga suhu  $1414 \text{ }^\circ\text{C}$ , namun sifat lain silika yang dapat berikatan dengan air (*hydrophilic*) dan porositas yang cukup besar menjadikan silika memiliki daya serap air yang cukup tinggi (Sembiring and Karo Karo, 2007), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pengisi (*filler*). Silika dapat menjadi pengisi (*filler*) dalam bahan seperti karet alam, *styrene butadiene* dan aspal. Pemanfaatan silika dalam material komposit telah banyak digunakan. Salah satu penelitian mengenai komposit silika telah dilakukan oleh Hildayati *et al.*, (2009). Hasil penelitian tersebut memaparkan, penambahan silika ke dalam karet alam dapat meningkatkan sifat mekanik seperti kuat tarik dan perpanjangan putus pada karet alam. Selain itu, hasil analisis mikrostruktur menunjukkan partikel silika

Terdapat dua metode yang digunakan untuk mengekstraksi silika dari sekam padi yaitu metode pengabuan dan metode alkalis. Secara umum metode pengabuan didasarkan pada karakteristik tingkat pembentukan kristalinitas silika melalui proses perlakuan termal (Sembiring and Simanjuntak, 2015). Proses perlakuan termal selain menghasilkan silika juga menghasilkan karbon atau disebut dengan karbosil.

Karbosil adalah salah satu material dengan komposisi pembentuknya terdiri dari silika dan karbon. Dari sifat komposisi silika dan karbon, karbosil merupakan material penunjang untuk dapat diaplikasikan pada berbagai keperluan. Karbosil merupakan material yang sangat stabil dan tahan terhadap suhu tinggi. Berdasarkan kestabilannya, karbosil sudah digunakan sebagai bahan *furnace* (tungku) suhu tinggi (Chen and Huang, 2006). Karbosil juga merupakan material yang memiliki struktur *amorph* dengan porositas yang tinggi dan luas permukaan yang besar. Dengan karakteristik yang dimiliki, karbosil dapat dimanfaatkan sebagai penunjang adsorben, seperti untuk penanganan polutan organik dalam pengolahan air, logam berat dalam limbah cair dan untuk pencegahan material yang bersifat abrasif dan asam, serta sebagai bahan konduktor. Metode dalam pembuatan karbosil yang digunakan hingga dewasa ini adalah pirolisis dengan menggunakan silika dan senyawa organik lain seperti metilenklorida sebagai sumber karbon, dimana senyawa dipirolisis pada suhu 500 °C untuk melepaskan karbon dan karbon yang dihasilkan selanjutnya dideposisikan pada cairan silika (Gunko *et al.*, 2000). Berkaitan dengan bahan baku dan metode pembuatan karbosil, sekam padi merupakan salah satu material yang sangat menarik untuk diolah menjadi karbosil. Potensi ini didasarkan bahwa sekam padi terdiri dari

karbon sekitar 40% dan silika 16% setelah mengalami proses pirolisis (Daifullah, *et al.*, 2004).

Penelitian mengenai komposit silika aspal telah dilakukan oleh Yang and Tighe (2013), hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan silika pada pengikat aspal dapat meningkatkan titik leleh, viskositas, dan kuat tarik yang baik. Selain itu, hasil penelitian Crucho *et al.* (2018) dengan penambahan nanosilika sebesar 4% pada pengikat aspal dapat meningkatkan modulus kekakuan, ketahanan, dan menurunkan perilaku elastis.

Berdasarkan uraian di atas belum adanya penelitian mengenai pembuatan komposit aspal-karbosil mendorong dilakukannya penelitian ini dengan variasi komposisi aspal-karbosil. Komposit Aspal- karbosil diharapkan akan mempunyai keunggulan sifat fisis dan mekanik yang lebih baik. Proses ekstraksi karbosil dilakukan dengan menggunakan metode pirolisis. Hasil akhir dari proses tersebut berbentuk serbuk karbosil yang akan dicampurkan dengan material aspal. Penelitian ini dilakukan analisis struktur menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), menggunakan *Differential Thermal Analysis-Thermogravimetric Analysis* (DTA-TGA) untuk mengetahui sifat termal, analisis sifat fisis porositas, perubahan ketebalan, dan uji mekanik kuat tekan.

## **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

F. Bagaimana pengaruh variasi komposisi aspal-karbosil terhadap struktur fasa dan sifat termal komposit aspal-karbosil?.

G. Bagaimana pengaruh variasi komposisi aspal-karbosil terhadap sifat fisis (porositas, perubahan ketebalan) dan mekanik (uji kuat tekan) komposit aspal-karbosil?.

H. Bagaimana kaitan struktur dan termal terhadap sifat fisis dan mekanik komposit aspal-karbosil?.

### **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi aspal-karbosil terhadap struktur fasa dan sifat termal komposit aspal-karbosil.
2. Mengetahui pengaruh variasi komposisi aspal-karbosil terhadap sifat fisis (porositas, perubahan ketebalan) dan mekanik (uji kuat tekan) komposit aspal-karbosil.
3. Mengetahui kaitan struktur dan termal terhadap sifat fisis dan mekanik komposit aspal-karbosil.

### **D. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Karbosil diperoleh dari sekam padi dengan menggunakan metode pirolisis.
2. Variasi yang digunakan dengan perbandingan aspal dan karbosil yaitu 0:10; 1:9; 1,5:8,5; 2:8; 2,5:7,5; dan 3:7.
3. Analisis yang dilakukan meliputi struktur fasa, termal, sifat fisis, dan mekanik.

## **E. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan bagi penulis dalam studi katakteristik termal, struktur fasa, sifat fisis (porositas dan perubahan ketebalan) dan mekanik (kuat tekan) aspal-karbosil;
2. Sebagai bahan referensi aspal modifikasi dengan bahan baku karbosil dari sekam padi dengan metode pirolisis;
3. Meningkatkan pemanfaatan sekam padi secara optimal sehingga memiliki nilai guna di bidang ilmu pengetahuan, teknologi, dan industri.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Sekam padi dan Silika dari Sekam Padi

#### 1. Sekam Padi

Padi merupakan tanaman yang termasuk genus *Oryza*. Tanaman padi memiliki morfologi yaitu: gabah, akar, daun, tajuk, batang, bunga dan malai. Gabah merupakan salah satu komponen penting pada padi yaitu untuk menghasilkan beras, selain itu gabah juga dapat menghasilkan sekam padi (Makarim and Suhartatik, 2007). Sekam padi merupakan bagian terluar dari butir padi yang membungkus butir beras, yang merupakan hasil sampingan saat proses penggilingan dan dihasilkan sekitar 20% dari bobot padi. Sekam padi tersusun atas senyawa anorganik dan organik. Komposisi sekam padi dapat dilihat pada

#### Tabel 2.1.

**Tabel 2.1.** Komposisi kimia sekam padi (Sumber: Iyenagbe and Othman, 2012)

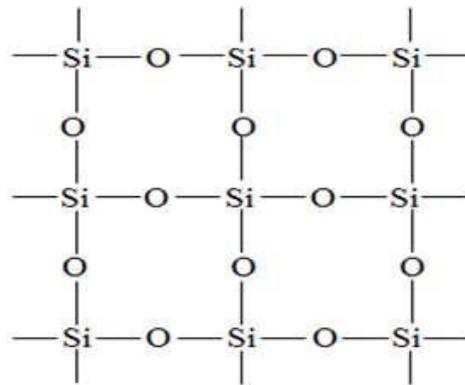
Komponen	% Berat
SiO <sub>2</sub>	17
Selulosa	35
Hemiseluosa	25
Ligin	20
Crude protein	3

Sekam padi sebagai limbah pertama dari penggilingan padi memiliki potensi cukup besar dalam industri. Potensi sekam padi salah satunya yaitu sebagai sumber silika. Sekam padi yang melalui proses pembakaran akan menghasilkan silika sebagai komponen utamanya. Silika ini dapat digunakan sebagai bahan

bangunan untuk campuran pada pembuatan semen Portland, bahan isolasi dan campuran pada industri bata merah (Ismunadji *et al.*, 1988).

## 2. Silika

Silika adalah senyawa kimia yang terbentuk dari atom silikon dan oksigen yang umum ditemukan di alam. Silika memiliki struktur atom Si yang terikat pada empat atom O dengan rantai Si-O-Si. Setiap atom Si dikelilingi oleh empat atom O dan atom O berdekatan untuk dua atom Si dengan membentuk formulasi  $\text{SiO}_2$  dan struktur silika dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1.** Struktur silika (Todkar *et al.*, 2016).

Silika terbentuk dari atom silikon dan oksigen, dimana silikon merupakan unsur kedua terbanyak dan oksigen adalah unsur yang paling melimpah di kulit bumi. Silika 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 (Hara, 1986).

Silika dapat diperoleh dari silika mineral, nabati dan sintesis kristal. Silika mineral adalah senyawa yang banyak ditemui dalam bahan tambang/galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar yang mengandung kristal-kristal

silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Della *et al.*, 2002). Silika dapat berbentuk gel, kristal dan amorf (Todkar *et al.*, 2016). Beberapa bahan non komersil yang dapat digunakan sebagai sumber  $\text{SiO}_2$  yakni daun bambu (Amu and Adetuberu, 2010; Aminullah *et al.*, 2015), tongkol jagung (Mohanraj *et al.*, 2012; Velmurugan *et al.*, 2015), dan yang paling banyak digunakan adalah sekam padi (Chandrasekhar *et al.*, 2002, dan Kalapathy *et al.*, 2002).

a. Karakteristik Silika ( $\text{SiO}_2$ )

Silika memiliki sifat hidrofobik (tidak dapat menyerap air), transparan (Sriyanti *et al.*, 2005), dan bersifat non konduktor (Hildayati *et al.*, 2009). Karakteristik silika ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2.2.** Karakteristik silika (Surdia and Saito, 1999).

Kategori	Silika
Rumus kimia	$\text{SiO}_2$
Berat jenis ( $\text{g/cm}^3$ )	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak larut
Titik didih ( $^{\circ}\text{C}$ )	1610
Titik cair ( $^{\circ}\text{C}$ )	2230
Kekerasan ( $\text{kg/mm}^2$ )	650
Kekuatan tekuk (MPa)	70
Kekuatan tarik (MPa)	110
Modulus elastisitas (Gpa)	73 – 75

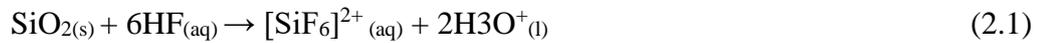
Senyawa silika mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Sugiarto, 2012):

1. Sifat fisis silika; Silika mempunyai rumus molekul  $\text{SiO}_2$  dan berwarna putih.

Titik leleh silika adalah  $1610^{\circ}\text{C}$ , sedangkan titik didihnya  $2320^{\circ}\text{C}$ . Silika tidak larut dalam air dingin, air panas maupun alkohol tetapi dapat larut dalam HF (asam hidroflouro).

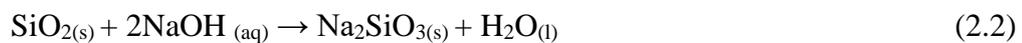
2. Sifat kimia silika; Silika bersifat stabil terhadap hidrogen kecuali fluorin dan juga inert terhadap semua asam kecuali HF, dengan HF bereaksi menurut

**Persamaan (2.1).**



Basa pekat misalnya NaOH dalam kondisi panas secara perlahan dapat mengubah silika menjadi silikat yang larut dalam air. Reaksi menurut

**Persamaan (2.2)**



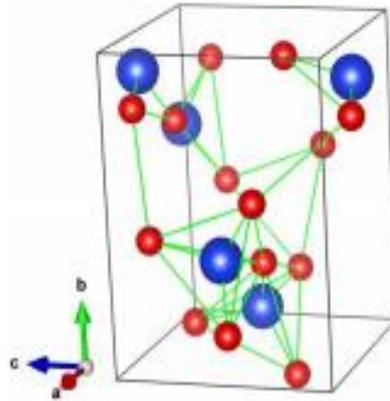
#### b. Struktur Kristal Silika

Perubahan silika amorf menjadi fase kristal terjadi pada saat suhu pemanasan sekitar 800 °C dan optimal pada saat suhu mencapai 900 °C (Sugita, 1993). Silika mempunyai tiga bentuk kristal yaitu kuarsa (*quartz*), *cristobalite*, dan *tridymite*. Masing-masing kristal ini memiliki stabilitas dan kerapatan yang berbeda (Brindley dan Brown, 1980) yang ditunjukkan pada **Tabel 2.3**.

**Tabel 2.3.** Kristal utama silika dengan rentang stabilitas, struktur dan densitas (Smallman and Bishop, 2000).

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

Struktur kristal silika (SiO<sub>2</sub>) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2.** Struktur kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang dibuat kembali menggunakan program VESTA (Momma and Izumi, 2014).

Pada **Gambar 2.2**, Si ditunjukkan dengan warna biru dan O ditunjukkan dengan warna merah dimana memiliki *space group*  $Pn\bar{a}2_1$  dengan nomor *space group* yaitu 33. Struktur kristal silika memiliki sistem kristal *orthorhombic* dengan jari-jari ionik Si dan O secara berturut-turut yaitu  $1,97 \text{ \AA}$  dan  $1,15 \text{ \AA}$ . Silika memiliki parameter kisi  $a = 5,048 \text{ \AA}$ ,  $b = 6,657 \text{ \AA}$ , dan  $c = 4,937 \text{ \AA}$ , serta nilai sudut  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  (Boisen *et al.*, 1994).

### 3. Perolehan Silika dari Sekam Padi

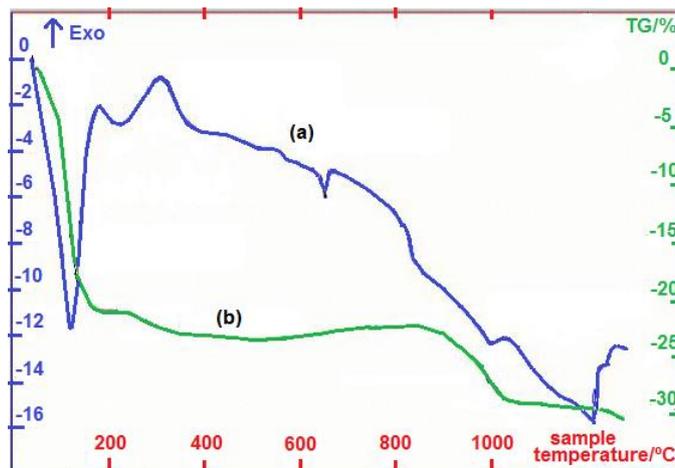
Sekam padi merupakan salah satu sumber silika nabati yang memiliki kandungan senyawa organik (protein, lemak, dan asam amino) serta senyawa anorganik (kalium, natrium, fosfor, dan silika). Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan oleh Majumder *et al.* (2014) menunjukkan bahwa sekam padi memiliki kandungan silika sebesar 80 – 90% dan diikuti senyawa lain yang cukup rendah seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.4.** Komposisi senyawa sekam padi (Majumder *et al.*, 2014).

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

Fernandes *et al.* (2017) melakukan ekstraksi silika dengan variasi suhu dan waktu yang berbeda. Silika yang diperoleh dengan ekstraksi alkalis pada suhu rendah dihasilkan silika amorf. Pada suhu 800 °C menunjukkan bahwa fasa kristobalit mulai terbentuk. Namun, pada suhu 800 °C selama 3 jam memiliki puncak yang lebih tajam dibandingkan pada 800 °C dengan waktu 1 dan 2 jam. Penelitian lain yang telah dilakukan Bakar *et al.* (2016) XRD silika pada berbagai suhu pembakaran, pada penelitian ini menunjukkan bahwa transformasi kristalisasi silika mulai terjadi pada 900 °C dengan intensitas maksimum pada  $2\theta = 22^\circ$  dan menunjukkan sifat silika amorf.

Sembiring and Karo Karo (2007) melakukan penelitian mengenai pengaruh suhu sintering terhadap karakteristik termal silika dari sekam padi. Kurva perubahan termal/kehilangan massa silika sekam padi ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3.** Kurva perubahan termal/kehilangan massa silika sekam padi (Sembiring and Karo Karo, 2007).

Hasil analisis kurva DTA pada **Gambar 2.3** menunjukkan kehadiran 2 puncak endoterm masing masing pada suhu 123 °C dan 652 °C. Puncak endoterm pertama pada suhu 123 °C mengindikasikan terjadinya proses penguapan air dan senyawa volatil. Puncak endoterm kedua pada suhu 652 °C mengindikasikan proses kristalisasi dan dekomposisi fasa *crystoballite*. Sementara dari kurva TGA, menunjukkan bahwa dari suhu 50-170 °C mengalami kehilangan massa sebesar 21%, lalu pada suhu 170-380 °C mengalami kehilangan massa sebesar 2,1%, dan pada suhu 900-1100 °C mengalami kehilangan massa sebesar 7% dengan total kehilangan massa sebesar 30,1%.

#### 4. Karbosil

Karbosil adalah salah satu material dengan komposisi pembentuknya terdiri dari silika dan karbon. Dari sifat komposisi silika dan karbon, karbosil merupakan material yang sangat stabil dan tahan terhadap suhu tinggi serta bahan kimia. Karbosil umumnya dibuat dengan menggunakan perlakuan hidrotermal atau termal dari campuran silika dan sumber karbon.

Dalam penelitian sebelumnya, dilaporkan pembuatan karbosil menggunakan silika amorf dan metilen klorida sebagai bahan baku, dengan pirolisis metilen klorida pada 550 °C (Gunko *et al.*, 2000), dan pada 1000 °C (Zieba *et al.*, 2002) untuk melepaskan karbon, diikuti dengan pengendapan karbon pada silika. Dalam penelitian lain oleh xu *et al.* (2010) pembuatan karbosil menggunakan hidrotermal atau perlakuan termal dari campuran silika berpori dan stirena.

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

Sekam padi yang melalui proses pirolisis akan menghasilkan arang sekam padi. Arang sekam padi adalah suatu bahan padat yang berpori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung karbon dan silika sehingga membentuk karbosil. Arang sekam padi juga sebagai sumber alternatif SiO<sub>2</sub> (silika) dimana komposisi yang terdapat dalam arang sekam sebesar 76,4% (Eriko *et al.*, 2017). Menurut Eriko *et al.* (2017), kandungan kimia pada arang sekam padi ditunjukkan pada **Tabel 2.5**.

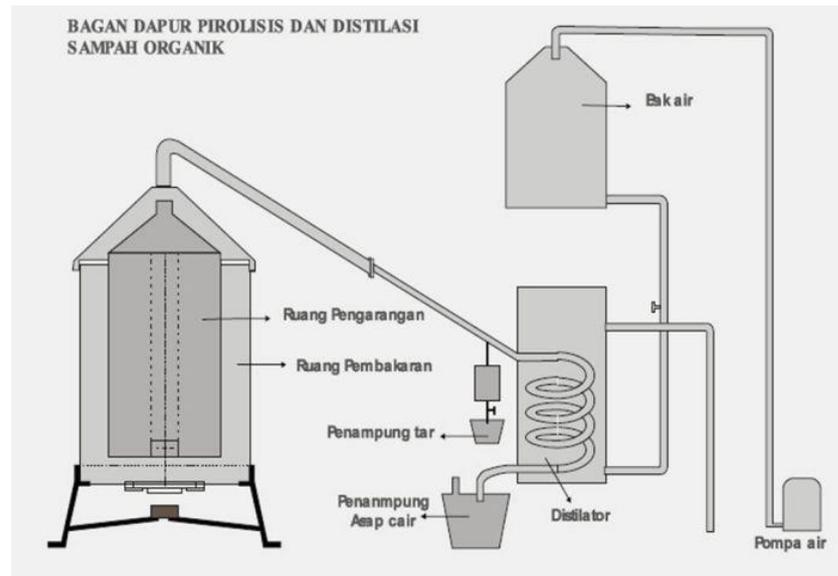
**Tabel 2.5.** Kandungan kimia arang sekam padi.

Elemen	Kandungan (%)
SiO <sub>2</sub>	76,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,66
CaO	0,39
Na <sub>2</sub> O	0,06
K <sub>2</sub> O	1,42
MgO	0,27
TiO <sub>2</sub>	0,01
P <sub>4</sub> O <sub>10</sub>	0,76

Karbosil dari sekam padi ini memiliki karakteristik yang ringan, kasar sehingga sirkulasi udara tinggi, kemampuan menahan air yang tinggi dan berwarna hitam sehingga dapat mengabsorpsi sinar matahari dengan baik. Karbosil dari sekam padi memiliki pH yang cukup tinggi yaitu antara 8,5 – 9,0 (Sembiring and Sinaga, 2003). Keunggulan Karbosil dari sekam padi adalah dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, serta melindungi tanaman (Sembiring and Sinaga, 2003). Penelitian yang telah dilakukan oleh Simanjuntak *et al.* (2012) mengungkapkan bahwa hasil analisis FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi Si-O-Si dan Si-OH, tetapi tidak ada gugus fungsi yang terkait dengan karbon, yang mengkonfirmasi pembentukan karbosil. Pembentukan karbosil ini juga didukung oleh hasil analisis EDS yang menunjukkan hanya terdapat tiga unsur C, O, dan Si.

## **B. Metode Pirolisis**

Pirolisis merupakan proses dekomposisi (devolatilisasi) suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Produk utama dari pirolisis yang dapat dihasilkan adalah padatan, minyak, dan gas. Padatan yang terbentuk dapat digunakan untuk bahan bakar ataupun digunakan sebagai karbon aktif, sedangkan minyak yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif atau campuran dalam bahan bakar. Gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung (Chaurasia and Babu, 2005). Alat pirolisis seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4.** Alat pirolisis (Hidayat, 2015).

## 1. Prinsip Pirolisis

Pada saat pirolisis, terjadi penguapan dan penguraian bahan organik menghasilkan uap dan padatan (arang). Uap yang terbentuk dialirkan menuju kondensor untuk didinginkan agar terbentuk bio-oil, sedangkan sisa gas yang *non condensable* dikeluarkan ke udara. Sedangkan padatan (arang) akan tertinggal di dalam tabung pirolisis dan akan dikeluarkan setelah selesai percobaan. Panas yang diberikan yaitu mulai dari suhu 250 °C sampai dengan suhu 1000 °C. Suhu adalah faktor yang paling penting untuk produk hasil pirolisis. Biasanya untuk mendapatkan produk padatan suhu yang sering digunakan yaitu berkisar 300 - 600 °C (Demirbas, 2009).

## 2. Perolehan Karbosil dari Sekam Padi

Berdasarkan komposisinya, sekam padi dapat digunakan sebagai bahan baku tunggal pembuatan karbosil. Pirolisis sekam padi dalam kondisi anaerobik

diharapkan dapat menghasilkan karbonasi organik dan karbon yang dihasilkan akan bergabung dengan silika membentuk karbosil. Temuan penelitian sebelumnya oleh Katsuki *et al.* (2005), menunjukkan bahwa karbon amorf dan silika dapat diturunkan dari sekam padi melalui proses termal. Selain itu, penelitian lain menemukan bahwa produksi komposit karbon berpori dari sekam padi menggunakan aktivasi asam fosfat juga telah dilaporkan abu sekam padi dengan kandungan karbon sekitar 45% dapat diperoleh dengan perlakuan termal sekam (Sing *et al.*, 2002). Dalam produksi karbosil, sekam padi merupakan bahan baku yang sangat menarik untuk dieksplorasi, didukung dengan hasil penelitian oleh Simanjuntak *et al.* (2012) menggunakan sekam padi sebagai bahan baku tunggal pembuatan karbosil menunjukkan Hasil XRD bahwa karbosil bersifat amorf, dan tidak ada transformasi karbon dan silika menjadi fase kristal hingga batas suhu yang diterapkan.

### **C. Aspal**

Aspal adalah material yang berwarna hitam atau coklat tua dan berfungsi sebagai bahan pengikat (*cementitious*). Aspal bersifat *thermoplastis* yang akan menjadi keras atau padat pada suhu ruang atau lebih kental jika suhu bertambah dan akan lunak atau lebih cair jika dipanaskan sampai suhu tertentu. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan suhu. Contoh aspal dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



**Gambar 2.5.** Aspal (Qin *et al.*, 2018).

Aspal dapat diperoleh di alam ataupun hasil residu dari distilasi minyak bumi. Aspal yang diperoleh dari alam pada dasarnya terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitumen (Sukirman, 2003). Komposisi kimia dari aspal secara ringkas disajikan pada **Tabel 2.6**.

**Tabel 2.6.** Komposisi kimia aspal (Read dan Whiteoak, 2003)

Komposisi	Kandungan (%)
Karbon	82 – 88
Hidrogen	8 – 11
Belerang	0 – 6
Oksigen	0 - 1,5
Nitrogen	0- 1

### 1. Karakteristik Aspal

Kandungan utama aspal adalah hidrogen dan karbon. Selain itu, terdapat atom-atom yang menyusun aspal antara lain nitrogen, oksigen, belerang, dan beberapa atom lain. Komposisi aspal terdiri dari *asphaltenes* dan *malthenes*. *Asphaltenes* merupakan material yang berwarna hitam atau coklat tua yang mengandung campuran kompleks hidrokarbon (5% - 25%) dan terdiri dari belerang, amina, amida, senyawa oksigen (keton, fenol atau asam karboksilat), nikel, dan vanadium. Unsur-unsur yang terkandung dalam bitumen yaitu karbon (82 – 88%),

hidrogen (8 – 11%), sulfur (0 – 6%), oksigen (0 - 1,5%), dan nitrogen (0 – 1%) (Nuryanto, 2008). *Malthenes* terdapat tiga komponen penyusun yaitu resin, *aromatic*, dan *saturates*. Resin dalam aspal akan menyebabkan adhesi aspal menjadi kuat. *Aromatic* adalah molekul aspal yang paling ringan dan paling banyak terkandung dalam aspal sekitar 40% - 65%. *Saturates* merupakan cairan kental, bersifat non-polar, dan berwarna putih bening (Shell, 2003). Penelitian yang telah dilakukan oleh Muniandy *et al.* (2012) menunjukkan titik lembek aspal pada saat pemanasan 135 °C sebesar 0,28 dan pada saat suhu 160 °C nilai titik lembek yang diperoleh menjadi semakin menurun yaitu 0,1. Aspal umumnya digunakan sebagai bahan pembangunan jalan raya, *coating* atap, dan konstruksi bangunan.

## 2. Aspal Modifikasi

Nama lain dari aspal modifikasi adalah *Polymer Modified Asphalt* (PMA) atau *Polymer Modified Bitumen* (PMB), ini adalah aspal minyak ditambah dengan bahan tambah (*additive*) agar meningkatkan kinerjanya, yaitu aspal yang tahan beban dan tahan lama (awet). Aspal modifikasi polimer telah diyakini memberikan kinerja yang lebih baik, jika pemilihan jenis aspal modifikasi yang sesuai dengan kondisi lokasi, beban lalu lintas dan lingkungan yang sesuai. *Polymer Modified Asphalt* (PMA) telah dikembangkan selama beberapa dekade terakhir. Umumnya dengan sedikit penambahan polimer (biasanya sekitar 2 – 6%) sebagai modifier pada aspal konvensional, memberikan hasil yang signifikan dalam hal ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi, mengatasi keretakan-keretakan dan meningkatkan ketahanan yang tinggi dari kerusakan akibat umur

sehingga dihasilkan kinerja jalan lebih tahan lama serta dapat mengurangi biaya perawatan atau perbaikan jalan. Penggunaan campuran polimer aspal merupakan trend 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. Polimer secara umum dapat diklasifikasikan menjadi *thermoplastic crystalline polymer* (plastomer), *thermoplastic rubber* (Elastomer) dan *thermosetting polymer*. Plastomer secara umum disebut sebagai bahan polimer plastic, antara lain *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), *polyvinyl chloride* (PVC), *polystyrene* (PS), *ethylene vinyl acetate* (EVA) dan *ethyl methyl acrylate* (EMA). Sementara elastomer yang banyak disunakan sebagai modifier antara karet, *Styrene-butadiene-styrene block copolymer* (SBS), *Styrene-butadiene rubber* (SBR), *Styrene-isoprene-styrene block copolymer* (SIS), *Polybutadiene* (PBD), dan *Polyisoprene* (Epps, 1986).

Pada modifikasi polimer yang dilakukan terhadap aspal yaitu dilakukan oleh Zang *et al.* (2011), dengan melakukan penambahan SBS (*styrene butadiene styrene*) terhadap aspal. Pada penelitian ini terlihat bahwa terjadinya pengurangan massa pada setiap sampel yang dipadukan dengan SBS mulai dari suhu 300 °C – 550 °C dan ini mengakibatkan terbentuknya puncak endotermik pada kurva DTA pada suhu dibawah 550 °C. Kehilangan massa ini terjadi karena terjadi penguapan dari saturate dan aromatic serta terjadi dekomposisi antara asfaltene dan SBS (*styrene butadiene styrene*). Penelitian lain mengungkapkan

mikrostruktur dan trotoar SBS pengikat aspal termodifikasi menunjukkan bahwa modifikasi aspal SBS secara signifikan memperbaiki retak kelelahan dan kinerja suhu rendah (Yildirim, 2007).

Aspal yang dipadukan dengan lateks alami (getah karet) menghasilkan nilai uji pada titik nyala sebesar 320 °C, dan titik bakar sebesar 346 °C (Trisilvana *et al.*, 2011).

#### **D. Aspal Komposit**

Material komposit adalah bahan struktural yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang digabungkan pada tingkat makroskopik dan tidak larut satu sama lain (Gururaja and Hari, 2012). Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat (fiber) sebagai pengisi dan bahan pengikat serat tersebut yang disebut matrik. Di dalam komposit unsur utamanya adalah serat, sedangkan bahan pengikatnya menggunakan bahan polimer yang mudah dibentuk dan mempunyai daya pengikat yang tinggi. Penggunaan serat bertujuan untuk menentukan karakteristik bahan komposit, seperti: kekakuan, kekuatan serta sifat-sifat mekanik lainnya. Sebagai bahan pengisi serat digunakan untuk menahan sebagian besar gaya yang bekerja pada bahan komposit, matrik sendiri mempunyai fungsi melindungi dan mengikat serat agar dapat bekerja dengan baik terhadap gaya-gaya yang terjadi. Oleh karena itu untuk bahan serat digunakan bahan yang kuat, kaku dan getas, sedangkan bahan matrik dipilih bahan-bahan yang liat, lunak dan tahan terhadap perlakuan kimia (Nasution, 2011).

Komposit aspal merupakan campuran antara aspal dengan suatu bahan tambahan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk membuat komposit aspal yaitu salah satunya dengan menambahkan silika ke dalam aspal. Hasil penelitian yang telah dilakukan Ouyang *et al.* (2005) menunjukkan bahwa kandungan silika yang ditambahkan aspal kurang dari 3,2% memiliki sedikit pengaruh pada sifat mekanik aspal. Silika bisa memperbaiki sifat rheologi dari aspal yang dimodifikasi sampai batas tertentu. Penelitian lain oleh Yao *et al.* (2013) mengenai nanosilika yang ditambahkan pada pengikat aspal kontrol sedikit menurunkan viskositas pengikat aspal kontrol, mempertahankan rendahnya pengeluaran kerja per siklus beban, menahan kinerja suhu rendah yang serupa dengan aspal kontrol, dan memiliki efek positif pada antioksidasi. Selain itu, penambahan nanosilika dengan konsentrasi 4% dari berat pengikat aspal menunjukkan bahwa partikel nanosilika menyebar dengan baik. Hasil penelitian lain oleh Shi *et al.* (2017) penambahan nanosilika dengan konsentrasi 1% pada pengikat aspal dapat meningkatkan kemampuan aspal menahan deformasi pada suhu tinggi.

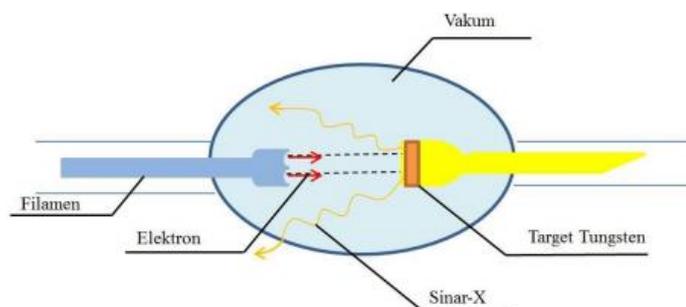
Aspal modifikasi berbasis komposit juga telah banyak dikembangkan seperti menggunakan partikel silika (Ouyang *et al.*, 2015) dan nanosilika (Yao *et al.*, 2013; Yusoff *et al.*, 2014; Shafabakhsh and Ani, 2015). Berbeda dengan aspal modifikasi berbasis silika dengan penambahan nano TiO<sub>2</sub>. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan nano TiO<sub>2</sub> dan nano SiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan karakteristik aspal dan meningkatkan 30% viskositas sekaligus mengurangi tingkat penetrasi (Shafabakhsh and Ani, 2015).

## E. KARAKTERISASI

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

#### a. Sinar-X (*X-Ray*)

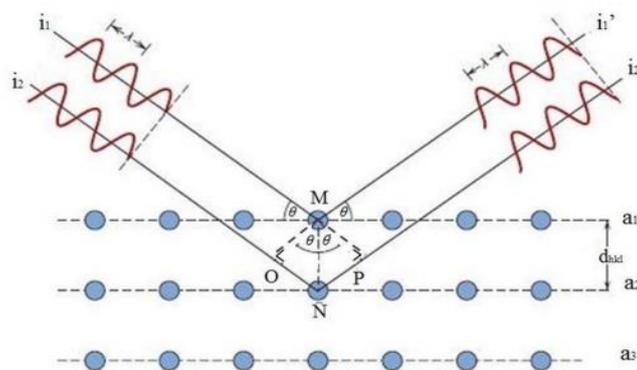
Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Röntgen pada tahun 1895, di Universitas Wurtzburg, Jerman. Röntgen mendapat hadiah nobel pada tahun 1901, yang merupakan hadiah nobel pertama di bidang fisika. Satuan panjang gelombang sinar-X adalah Å, sama dengan  $10^{-8}$  cm. Sinar-X yang digunakan dalam difraksi memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai dengan 2,5 Å. Sementara itu, panjang gelombang cahaya tampak diketahui berada dalam orde 6000 Å. Sinar-X berada antara sinar gamma dan ultraviolet dalam spektrum elektromagnetik (Cullity, 1978). Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang serupa dengan sinar tampak, namun sinar-X memiliki panjang gelombang yang lebih pendek. Sinar-X dapat diproduksi di dalam sebuah wadah (tabung) kedap udara dengan cara memanaskan filamen sehingga dapat mengeksitasikan elektronnya, kemudian elektron diakselerasi (dipercepat) dengan listrik bertegangan tinggi sehingga elektron memiliki energi kinetik yang tinggi. Karena elektron bermuatan negatif, maka elektron akan bergerak menuju sebuah plat logam yang diletakkan pada bagian anode yang bermuatan positif (Cullity, 1978). Proses pembentukan Sinar-X dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.6.** Proses pembentukan sinar-X dalam tabung elektron (Setiabudi *et al.*, 2012).

Bila berkas sinar-X dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut datang ( $\theta$ ), maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang kristal. Sinar sefase akan saling menguatkan dan yang tidak sefase akan saling melemahkan. Berkas sinar sefase tersebut yang menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan difraktometer (Cullity, 1978).

Hukum Bragg merupakan perumusan matematik mengenai proses difraksi yang terjadi sebagai hasil interaksi antara sinar-X yang dipantulkan oleh material . Pantulan tersebut terjadi tanpa mengalami kehilangan energi sehingga menghasilkan pantulan elastis atau *elastic scattering*. Bragg menunjukkan bahwa bidang yang berisi atom-atom di dalam kristal akan memantulkan radiasi dengan cara yang sama persis dengan peristiwa pemantulan cahaya di bidang cermin. Hasil difraksi diperoleh dari interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal (Vlack, 1991). Pola difraksi, intensitas, dan sudut difraksi  $2\theta$  berbeda-beda untuk setiap bahan. Skema difraksi sinar-X dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



**Gambar 2.7.** Skema difraksi sinar-X (Vlack, 1991)

**Gambar 2.7** menunjukkan skema difraksi sinar-X, gambar tersebut memperlihatkan kristal yang atom-atomnya tersusun pada bidang paralel  $a$ ,  $a_1$ , dan  $a_2$  masing-masing berjarak  $d$ . Diasumsikan sebuah berkas sinar-X monokromatik dengan panjang gelombang  $\lambda$  mengenai bidang kristal dan membentuk sudut  $\theta$ . Berkas sinar-X yang datang ini akan didifraksikan oleh atom-atom pada kristal dengan sudut pantul sama dengan sudut datang. Difraksi dapat terjadi kapanpun bila hukum Bragg terpenuhi, rumus sederhana hukum Bragg seperti **Persamaan (2.3)**.

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.3)$$

dengan,  $\lambda$  adalah panjang gelombang radiasi ( $m$ ),  $\theta$  adalah sudut difraksi, dan  $d$  adalah jarak antar bidang ( $m$ ).

#### b. Prinsip kerja Difraksi Sinar-X

Prinsip kerja difraksi sinar-X dihasilkan disuatu tabung sinar-X dengan pemanasan kawat pijar atau filamen untuk menghasilkan elektron-elektron, kemudian elektron-elektron yang berupa sinar-X tersebut dipercepat terhadap suatu sampel dengan memberikan suatu voltase, dan menembak sampel dengan elektron. Elektron-elektron yang berupa sinar-X akan melewati celah agar berkas sinar yang sampai ke sampel berbentuk paralel dan memiliki tingkat divergensi yang kecil, serta elektron-elektron tersebut dapat menyebar merata pada sampel. Ketika elektron-elektron mempunyai energi yang cukup untuk mengeluarkan elektron-elektron dalam sampel, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut.

Sinar yang dibiaskan dari sampel juga melewati celah (*slit*) sebelum ditangkap oleh detektor sinar-X, sehingga sinar yang dibiaskan tidak menyebar dan kemudian melewati celah *soller* (*soller slit*). Celah ini berfungsi untuk mengarahkan sinar-X yang akan dicatat oleh detektor dan akan mengeliminasi hamburan yang tidak berguna dalam difraksi. Sinar tersebut akan melewati penyaringan monokromator sekunder yang berfungsi sebagai penghasil sinar-X monokromatik yang diperlukan untuk difraksi.

Penelitian oleh Ardianiswari *et al.* (2020) mengenai komposit silika sekam padi dan aspal mengungkapkan hasil analisis struktur yang menunjukkan silika amorf mengalami pergeseran dari  $2\theta = 22^\circ$  menjadi  $2\theta = 21^\circ$  dan teridentifikasi karbon amorf pada  $2\theta = 20^\circ$ . Nazari *et al.* (2018) juga melakukan penelitian menggunakan karakterisasi XRD, untuk mengetahui struktur pada sampel modifikasi aspal dengan penambahan 4% nano silika ( $\text{SiO}_2$ ). Hasil karakterisasi XRD yang diperoleh menunjukkan hasil sampel aspal yang dicampur dengan 4% nanosilika memiliki struktur fasa amorf dengan adanya keberadaan karbon dan silika. Teridentifikasinya karbon amorf pada  $2\theta = 18^\circ$  dan keberadaan silika amorf terdapat pada intensitas yang tinggi yaitu  $2\theta = 23^\circ$ .

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

Analisa termal adalah suatu teknik pengukuran perubahan sifat-sifat fisik dan kimia suatu sampel sebagai fungsi atau respon atas perubahan suhu. Terdapat dua jenis teknik analisa termal yang utama dan merupakan teknik yang paling populer,

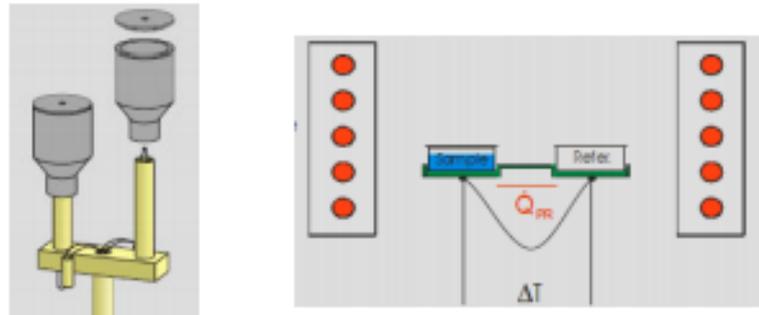
yaitu analisa termogravimetri atau *Thermo Gravimetric Analysis* (TGA) dan *Differential Thermal Analysis* (DTA).

a. *Differential Thermal Analysis* (DTA)

Analisa termal diferensial adalah teknik dimana suhu dari sampel dibandingkan dengan material acuan yang inert selama berlangsungnya perubahan suhu lingkungan (*furnace*) secara terprogram. Pada pemanasan suatu sampel, suhu sampel dan acuan akan sama apabila tidak terjadi peristiwa termal seperti pelelehan, dekomposisi atau perubahan struktur kristal pada sampel. Namun pada saat terjadinya beberapa peristiwa termal tersebut, suhu dari sampel dapat berada di bawah (apabila perubahannya bersifat endoterm) ataupun di atas (apabila perubahan bersifat eksoterm) suhu acuan. Perbedaan inilah yang diukur dan menjadi dasar analisis deferensial termal.

Instrumen DTA komersial dapat digunakan pada rentang suhu 1900 °C sampai 16000 °C. Ukuran sampel biasanya kecil, beberapa miligram, sehingga mengurangi potensi munculnya masalah akibat gradien termal dalam sampel yang dapat mengurangi sensitivitas dan akurasi. Laju pemanasan dan pendinginan biasanya berada pada range 1 sampai 500 °C/menit. Pada penggunaan laju yang lebih lambat, sensitivitas akan berkurang karena  $\Delta T$  bagi peristiwa termal tertentu akan menurun dengan menurunnya laju pemanasan. Sel DTA biasanya didesain untuk memaksimalkan sensitivitasnya terhadap perubahan termal, namun hal ini sering berakibat pada kehilangan respon kalorimetrik, sehingga tinggi puncak hanya berhubungan dengan besar perubahan entalpi secara kualitatif saja. Dimungkinkan untuk mengkalibrasi peralatan DTA sehingga harga entalpi yang

kuantitatif dapat diperoleh, namun kalibrasi ini cukup rumit. Apabila diperlukan data kalorimetrik, maka lebih mudah untuk memakai DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) sebagai komplementer. Secara Skema alat DTA ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.

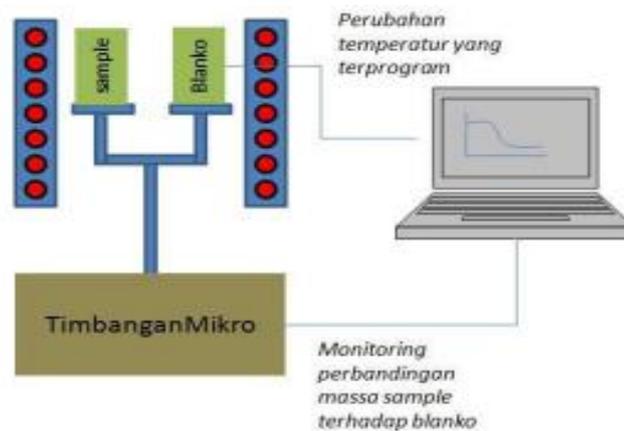


**Gambar 2.8.** Gambaran skematis peralatan DTA (Setiabudi *et al.*, 2012).

*Sample holder* terdiri dari termokopel yang masing-masing terdapat pada sampel dan material referensi. Termokopel ini dikelilingi oleh sebuah blok untuk memastikan tidak ada kebocoran panas. Sampel diletakkan pada wadah kecil dimana bagian bawahnya dipasangkan termokopel. Termokopel diletakkan langsung berkontak dengan sampel dan material referensi. Saat koil pemanas dipanaskan, maka suhu meningkat diikuti dengan peningkatan suhu sampel dan material referensi.

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

Pada TGA, massa sampel yang berubah karena proses dekomposisi, adsorpsi, atau reaksi dimonitor sebagai fungsi suhu. Untuk tujuan ini, di dalam peralatan TGA terdapat komponen utama yang mengukur massa sampel, lazim disebut dengan *micro balance*, dan beberapa sensor suhu. Kelengkapan lain di dalam peralatan TGA adalah wadah sampel, pengatur program suhu, dan tungku pemanas. Secara skematis peralatan TGA diperlihatkan pada **Gambar 2.9**.



**Gambar 2.9.** Gambaran skematis peralatan TGA (Setiabudi *et al.*, 2012).

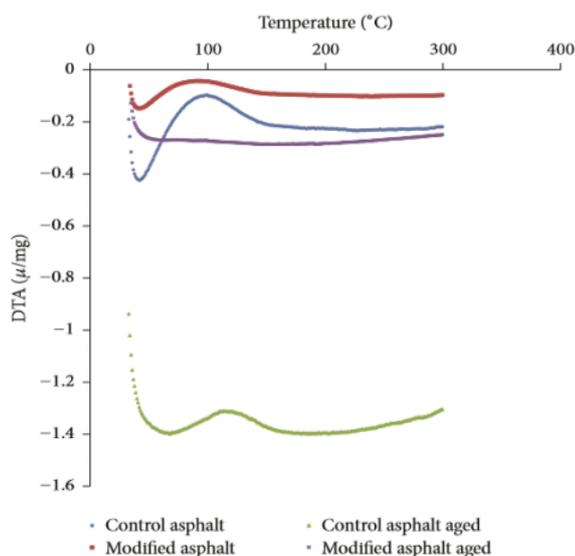
Di dalam sebuah tungku yang dihubungkan dengan pemrogram suhu terdapat dua wadah yang identik yaitu wadah sampel dan wadah rujukan (blanko). Kedua wadah ini terhubung dengan *micro balance* yang akan memantau perubahan massa sampel dan massa blanko selama proses perubahan temperatur. Selisih massa sampel dan massa blanko (dikondisikan nol) direkam dan hasilnya diplot dalam sebuat grafik fungsi massa terhadap temperatur. Hasil rekamannya dinamakan thermogram. Berbagai proses dapat dilakukan dengan mengubah-ubah variabel sesuai kebutuhan, seperti kenaikan dengan laju pemanasan yang tetap, mengkondisikan sampel pada temperatur tetap tertentu, atau penurunan suhu. Perubahan masa sampel dapat terjadi karena adanya dekomposisi, evaporasi, adsorpsi, atau reaksi dengan atmosfer (gas) yang digunakan.

### c. Aplikasi DTA/TGA

Penggunaan analisa termal untuk mempelajari padatan sangat banyak dan bervariasi. Secara umum DTA lebih bermanfaat dibandingkan TGA; TGA mendeteksi efek yang melibatkan hanya perubahan massa saja. DTA juga dapat

mendeteksi efek ini, namun juga dapat mendeteksi efek lainnya seperti transisi *polymorphic*, yakni reaksi yang tidak melibatkan perubahan berat. Untuk banyak permasalahan, sangat menguntungkan untuk menggunakan DTA dan TGA karena peristiwa-peristiwa termal yang terdeteksi pada DTA dapat diklasifikasikan menjadi beragam proses yang melibatkan perubahan berat ataupun yang tidak melibatkan perubahan berat (Setiabudi *et al.*, 2012).

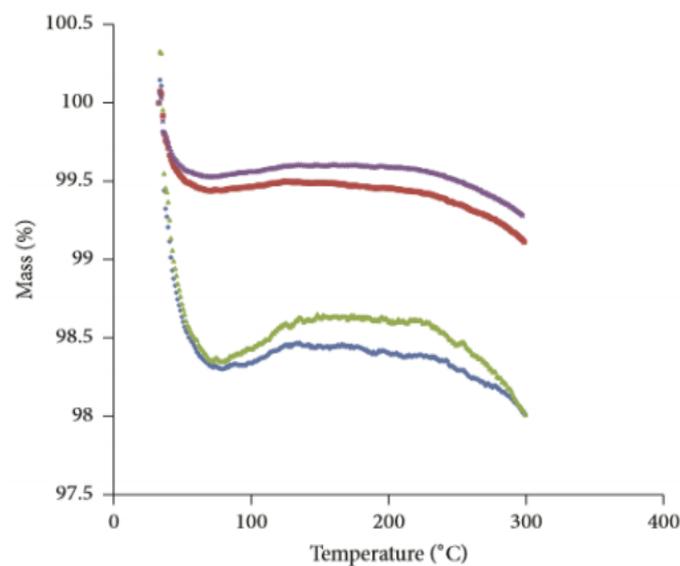
Gou *et al.* (2016) melakukan analisis DTA/TGA terhadap aspal kontrol dengan aspal yang dimodifikasi dengan silika. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi suhu 100 °C, 200 °C, dan 300 °C. Hasil analisis DTA ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



**Gambar 2.10.** Hasil analisis DTA (Gou *at al.*, 2016).

Menurut data yang diperoleh pada **Gambar 2.10**, terlihat perbedaan antara puncak endotermik dan eksotermik pertama tidak terlalu besar antara aspal kontrol dan aspal termodifikasi silika, pada keempat sampel terjadi puncak esotermik pada suhu 100 °C, pada grafik ini terlihat pada aspal kontrol memiliki

puncak yang lebih besar dari pada aspal yang dimodifikasi, memperlihatkan bahwa efek panas dari aspal kontrol lebih signifikan terhadap reaksi fisik dan kimia sampel selama proses kenaikan suhu. Jadi kita dapat menyimpulkan bahwa stabilitas suhu aspal yang dimodifikasi lebih baik. Untuk hasil analisis TGA ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.



**Gambar 2.11.** Hasil analisis TGA (Gou *et al.*, 2016).

Pada analisis TGA yang ditunjukkan pada **Gambar 2.11** dapat terlihat perbandingan kehilangan masa pembakaran aspal kontrol dan aspal yang dimodifikasi, jumlah aspal kontrol adalah 1,6% pada 105 °C, dan hilangnya aspal yang dimodifikasi adalah 0,5%. Selain itu, kehilangan masa aspal kontrol pada 300 °C adalah 2,%, sedangkan pembakaran aspal yang dimodifikasi silika pada 300 °C hanya 0,9%, hal ini menunjukkan bahwa stabilitas suhu tinggi dari aspal yang dimodifikasi lebih baik dari pada aspal kontrol. Dari analisis TGA yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa kinerja aspal seperti viskositas, kekuatan tarik, dan stabilitas suhu tinggi telah ditingkatkan secara signifikan dengan pencampuran dengan silika.

Penelitian lain menggunakan analisis DTA/TGA untuk melihat pengaruh penambahan aspal pada silika sekam padi menunjukkan bahwa penambahan aspal mengakibatkan terjadinya penurunan massa, suhu awal (*on set*), suhu maksimal dan suhu lembah endotermik. Selain itu, terjadi peningkatan suhu puncak eksotermik (Ardaniswari *et al.*, 2020).

#### **d. Kuat Tekan**

Kuat tekan adalah kapasitas dari suatu bahan atau struktur dalam menahan beban yang akan mengurangi ukurannya. Beberapa bahan akan patah atau hancur pada batas tekan, beberapa mengalami deformasi yang tidak dapat dikembalikan. Deformasi tersebut dapat dianggap sebagai batas kuat tekan meski belum patah atau hancur, hal ini ditemui terutama pada bahan yang tidak dapat kembali ke kondisi semula atau *irreversible* (Callister, 2003). Mengacu pada SNI 03-1974-1990, kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Dalam pengujian kuat tekan, benda uji dapat berupa kubus dan silinder. Alat uji kuat tekan ditunjukkan pada **Gambar 2.12**.



**Gambar 2.12.** Alat uji kuat tekan (Chairuddin *et al.*, 2016).

Nilai kuat tekan didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86.

Hasil uji kuat tekan yang dilakukan oleh Ardaniswari *et al.* (2020) diperoleh bahwa penambahan aspal terhadap silika sekam padi mengakibatkan terjadinya penurunan nilai kuat tekan. Hal ini berarti bahwa karakteristik dari silika sekam padi setelah penambahan aspal mengalami perubahan, yaitu memiliki karakteristik yang lebih lunak.

#### **e. Porositas**

Porositas adalah ukuran dari ruang kosong diantara material atau bahan yang merupakan fraksi dari volume ruang kosong terhadap total volume yang bernilai antara 0 dan 1 atau sebagai persentase antara 0-100%. Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan volume pori-pori (volume yang dapat ditempati oleh fluida) terhadap volume total bahan material (Das, 1990). Porositas

terbagi menjadi tiga bagian yaitu porositas terbuka, porositas tertutup dan porositas total. Porositas terbuka merupakan volume pori-pori yang terbuka dan kemudian dibagi dengan volume bongkahan (*bulk*). Porositas tertutup merupakan volume pori-pori tertutup yang terkandung dalam suatu material dan dibagi dengan bongkahan (*bulk*). Porositas total merupakan fraksi volume pori-pori terbuka dan pori-pori tertutup. Porositas muncul karena adanya pori yang terbuka, tertutup maupun ruang antar partikel. Pori terbuka adalah pori yang berhubungan dengan cairan di sekitarnya atau pori yang saling berhubungan termasuk di dalamnya ada kapiler, retakan retakan halus serta ketidakrataan (Lee and Rainforth, 1994). Nilai dari porositas total dapat ditentukan dengan **Persamaan (2.4)**.

$$s = \frac{m_j - m_k}{m_k - m_b} \times 100\% \quad (2.4)$$

dengan,  $S$  : Nilai porositas (%);  $m_j$ : Massa jenuh (g);  $m_k$ : Massa kering bahan uji (g);  $m_b$ : Massa bahan dalam air (g).

#### **f. Perubahan Ketebalan (*Swelling Thickness*)**

Pengembangan tebal adalah suatu perubahan ukuran rongga akibat menyerapnya air yang membuat sampel menjadi kaku. Pengembangan tebal disebabkan karena perubahan dimensi serat akibat pengembangan dinding sel serat atau perubahan ukuran rongga serat akibat menyerap air. Penyerapan uap air akan menyebabkan mengembangnya dinding sel serat. Sedangkan rongga serat yang mengecil pada saat pengempaan, mudah kembali ke ukuran semula karena perekat tidak dapat memasuki rongga serat dan mengikatnya dengan baik.

Isma *et al.* (2019), telah melakukan penelitian mengenai uji pengembangan tebal aspal akibat penambahan silika sekam padi. Hasil uji pengembangan tebal menunjukkan bahwa semakin banyak massa silika sekam padi di dalam sampel, maka nilai pengembangan tebal dari sampel semakin meningkat. Nilai perubahan ketebalan yang semakin meningkat disebabkan oleh adanya sifat hidrofilik dari silika sekam padi.

Menurut Sotannde *et al.* (2012), Perubahanan ketebalan adalah sifat fisik terkait dengan stabilitas dimensi. Pengujian pengembangan tebal mengacu pada SNI 03-2105 - 2006, yang dilakukan dengan mengukur tebal sampel sebelum dan setelah direndam dengan akuades selama 24 jam. Perhitungan perubahan ketebalan dilakukan menggunakan **Persamaan (2.5)**.

$$x = \left( \frac{d_1 - d_0}{d_0} \right) \times 100\% \quad (2.5)$$

dengan  $x$  adalah perubahan ketebalan (%),  $d_0$  adalah tebal sampel sebelum direndam akuades ( $mm$ ), dan  $d_1$  adalah tebal sampel setelah direndam akuades ( $mm$ ).

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April sampai dengan Juni 2021 di Laboratorium Fisika Material, Laboratorium Fisika Eksperimen, dan Laboratorium Kimia Universitas Lampung. XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang, karakterisasi DTA/TGA dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Universitas Lampung, pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin Universitas Lampung, dan pengujian daya serap air dilakukan di Laboratorium Fisika Material Universitas Lampung.

#### B. Alat dan Bahan Penelitian

##### 1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *beaker glass*, gelas ukur, *neraca* digital, aluminium *foil*, *tissue*, spatula, mortar dan *pestle*, *stopwatch*, alat pirolisis, oven, pengayak (*mesh*) No. 200, botol sampel. Sementara itu, alat-alat yang digunakan untuk karakterisasi sampel adalah *hydrolicpress* (Graseby Specac), XRD (X'pert Propan Analytical), dan DTA/TGA (Exstar TG/DTA 7300).

## **2. Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekam padi sebagai bahan dasar karbosil, akuades, bensin, dan aspal sebagai bahan pengikat.

### **C. Preparasi Sampel**

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

Preparasi sekam padi pada penelitian ini mengacu pada penelitian Pahlepi *et al.* (2013) Sekam padi terlebih dahulu dibersihkan, selanjutnya dicuci hingga bersih menggunakan air dan direndam selama 1 jam. Sekam padi yang mengapung di permukaan dibuang dan sekam padi yang tenggelam diambil. Kemudian sekam padi yang mengapung direndam menggunakan air panas selama 6 jam, hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan kotoran-kotoran (zat organik) yang larut dalam air seperti tanah, pasir, debu, dan zat pengotor lainnya. Setelah itu, sekam padi ditiriskan dan dikeringkan menggunakan panas sinar matahari selama hingga kering secara merata. Sekam padi di oven pada suhu 100 °C selama 30 menit supaya sekam benar-benar kering.

#### **2. Preparasi Karbosil**

Preparasi karbosil pada penelitian ini mengacu pada penelitian Simanjuntak *et al.* (2012). Preparasi karbosil dilakukan menggunakan unit pirolisis skala laboratorium, dilengkapi dengan termokopel untuk menjaga proses pada suhu yang ditentukan. Eksperimen ini dilakukan dengan menempatkan 500 gram sekam kering di dalam reaktor pada suhu 450 °C selama 6 jam. Kemudian sampel ditumbuk menjadi bubuk oleh mortar dan alu, dan diayak dengan 200 mesh.

### 3. Preparasi Paduan Aspal-Karbosil

Preparasi paduan aspal karbosil yaitu aspal dilarutkan dengan larutan bensin sambil diaduk, kemudian dipanaskan. Kemudian aspal yang sudah cair ditambahkan serbuk karbosil dengan digunakan dengan perbandingan massa karbosil dan aspal yaitu 10:0; 9:1,0; 8,5:1,5; 8:2; 7,5:2,5; dan 7:3 gram. Campuran dipanaskan sambil diaduk menggunakan *hot plate magnetic stirrer* hingga homogen. Setelah itu dilakukan pengeringan sampel campuran aspal silika dengan menggunakan oven selama 4 jam pada suhu 100 °C. Selanjutnya sampel digerus dengan *mortar* dan *pestle*. Sampel yang sudah digerus kemudian diayak No.200 mesh untuk mendapatkan serbuk paduan aspal karbosil. Setelah itu dilakukan karakterisasi SEM-EDS pada sampel, dan dilakukan pembuatan pelet dari sampel tersebut dengan cara dipress dengan menggunakan *pressing hidrolis* dengan tekanan 10 Ton untuk diuji densitas dan porositas.

### 4. Pembuatan Pelet Paduan Aspal Karbosil

Pembuatan pelet menggunakan alat *hydrolic press*. Langkah pertama yang dilakukan yaitu material aspal ditimbang sebanyak 5 gram untuk masing-masing paduan. Setelah ditimbang masing-masing sampel dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100 °C selama 1 jam hingga sampel benar-benar kering. Kemudian sampel ditekan dengan 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 Sampel**

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah XRD, DTA/TGA, serta uji fisis (porositas dan daya serap), dan uji kekerasan.

##### **1. Karakterisasi XRD**

Struktur paduan silika aspal dikarakterisasi menggunakan X'Pert PROPAN analytical 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  $2\theta = 5- 100^\circ$ . Identifikasi fasa dilakukan dengan *software Match*.

##### **2. Karakterisasi DTA/TGA**

Identifikasi sifat termal dilakukan dengan alat DTA/TGA (Exstar TG/DTA 7300). Pengujian dilakukan dari keadaan suhu 30-600 °C dengan laju kenaikan suhu 3 °C/menit.

##### **3. Pengujian Kuat Tekan**

Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan bahan uji (sampel) hancur apabila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Diameter dan ketebalan sampel diukur dalam milimeter (mm);
- b. Sampel diletakkan pada *holder*;
- c. Sampel ditekan dengan alat *Servo-hydraulic Test System* dengan kelajuan 0,1 mm/menit hingga hancur;
- d. Grafik dianalisis dan nilai kuat tekan yang ditampilkan pada komputer dicatat.

#### 4. Uji Porositas

Pengujian porositas pada penelitian ini dengan menggunakan prinsip Archimedes.

Adapun langkah- langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Sampel paduan aspal karbosil disiapkan terlebih dahulu;
- b. Sampel ditimbang menggunakan neraca digital untuk menentukan massa kering sampel ( $m_k$ );
- c. *Beaker glass* diisi akuades secukupnya, kemudian sampel dimasukkan ke dalam *beaker glass* tersebut lalu direbus selama 1 jam pada *hot plate*;
- d. Sampel dilap dengan *tissue* lalu ditimbang dengan neraca digital untuk mengetahui massa jenuh ( $m_j$ ) sampel.
- e. *Beaker glass* yang terisi air diletakkan di atas neraca digital dan kemudian dikalibrasi, lalu sampel dimasukkan ke dalam air tersebut dalam keadaan tergantung pada statif serta sampel diposisikan melayang di dalam air untuk mengetahui massa gantung ( $m_g$ ) sampel;
- f. Besarnya nilai porositas sampel dihitung dengan **Persamaan (2.4)**.

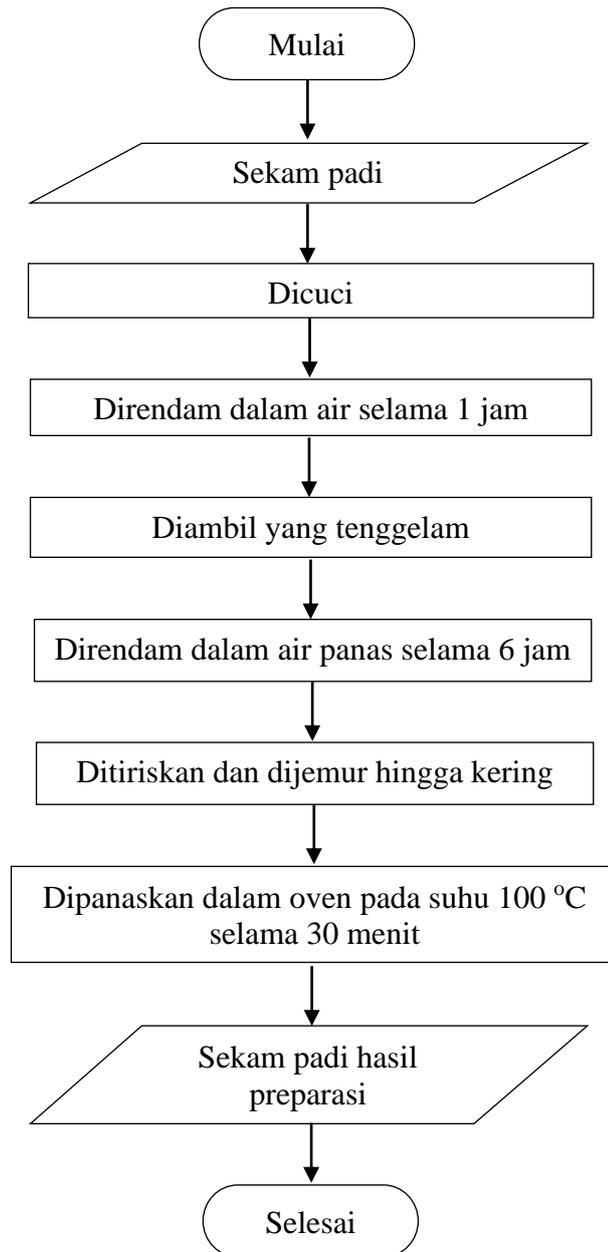
## 5. Pengujian perubahan ketebalan

Pengujian perubahan ketebalan menggunakan sampel berbentuk pelet dan dilakukan berdasarkan pada SNI 03-2105-2006 sebagai berikut:

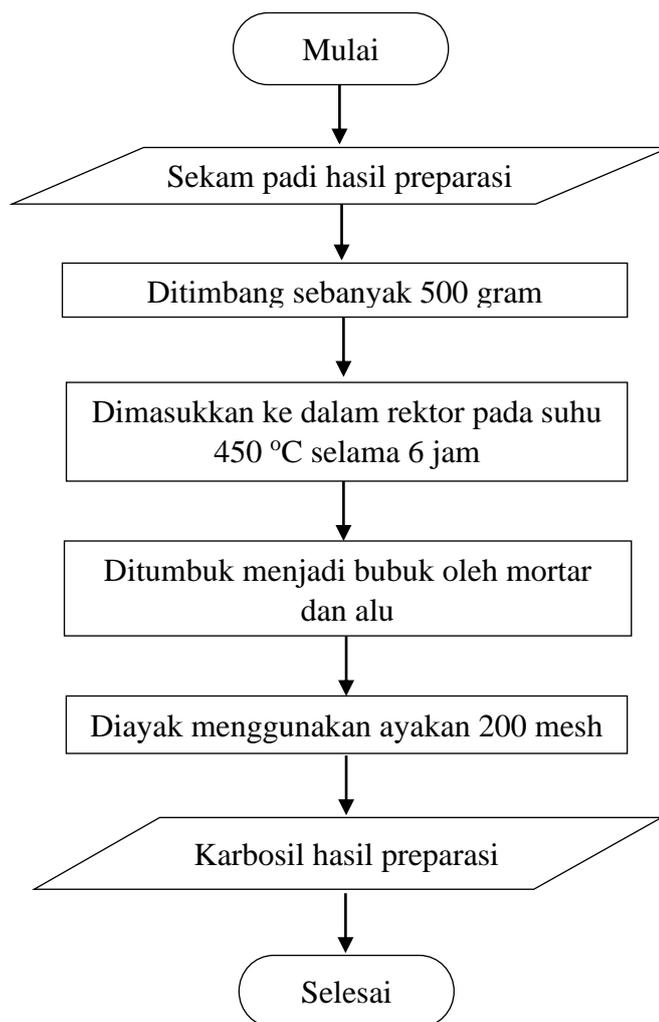
1. Sampel yang telah dipelet disiapkan terlebih dahulu;
2. Ketebalan sampel diukur menggunakan mikrometer sekrup untuk menentukan tebal sampel awal ( $d_0$ );
3. Beaker glass diisi dengan akuades 35 ml kemudian sampel dimasukkan ke beaker glass tersebut lalu didiamkan selama 24 jam;
4. Sampel dibersihkan dengan tisu kemudian diukur menggunakan mikrometer sekrup untuk mengetahui tebal sampel setelah perendaman ( $d_1$ );
5. Pengembangan tebal dihitung dengan **Persamaan (2.5)**.

## E. Diagram Alir

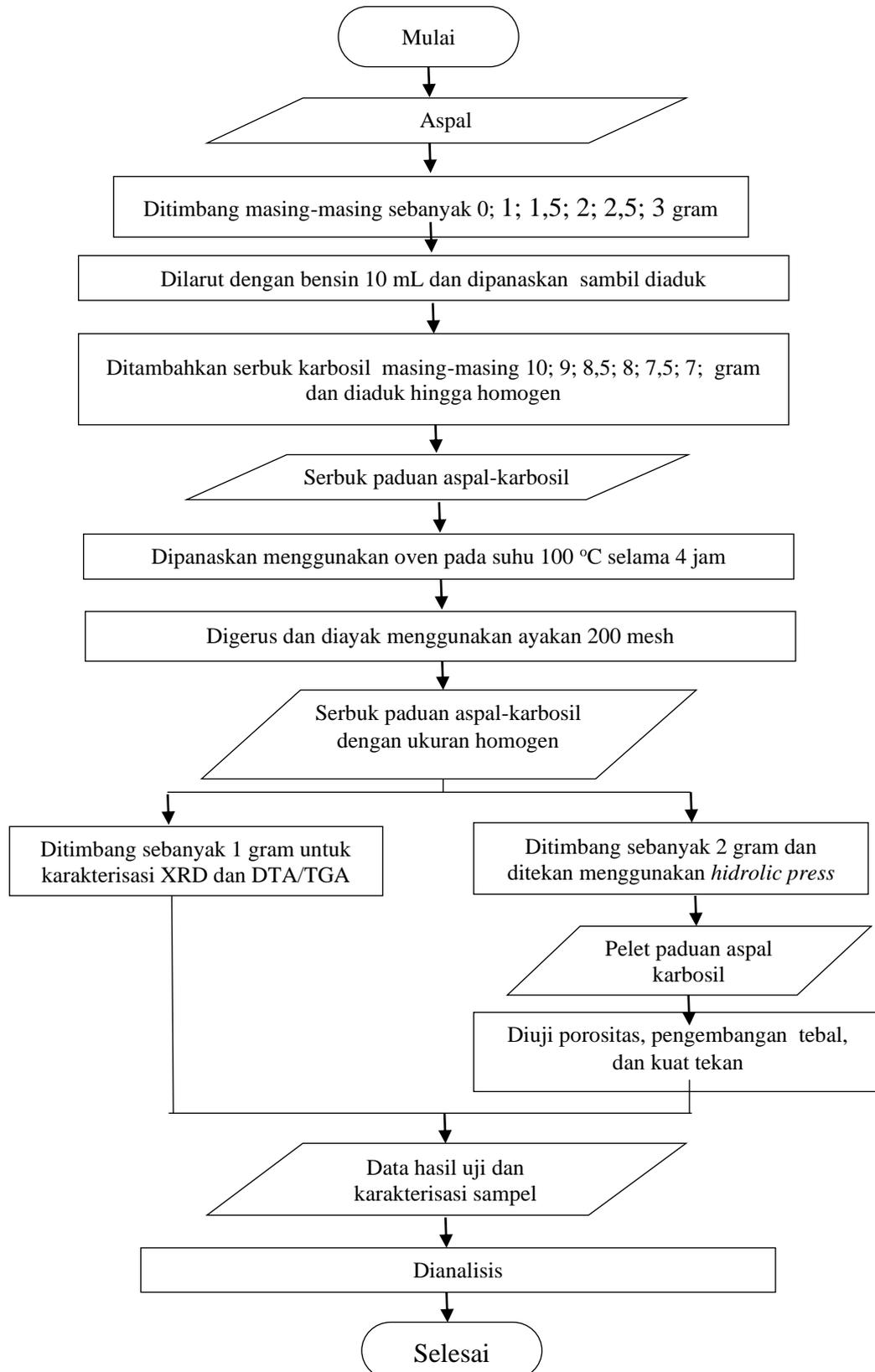
Secara garis besar, langkah kerja penelitian ini terbagi menjadi dua bagian yaitu preparasi sekam padi, preparasi karbosil, dan pembuatan sampel paduan aspal - karbosil. Diagram alir preparasi sekam padi dapat dilihat pada **Gambar 3.1**, untuk preparasi karbosil dapat dilihat pada **Gambar 3.2**, dan paduan aspal-karbosil pada **Gambar 3.3**.



**Gambar 3.1.** Preparasi Sekam Padi



**Gambar 3.2.** Preparasi Karbosil



**Gambar 3.3.** Paduan Aspal-Karbosil

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis XRD menunjukkan pada setiap sampel fasa yang terbentuk adalah fasa amorf dan menunjukkan terbentuknya unsur karbon dan silika berikatan tetapi tidak terjadi reaksi sehingga tidak membentuk fasa baru.
2. Hasil DTA/TGA menunjukkan terjadinya proses perubahan energi paduan aspal-karbosil bahwa ketahanan sampel terhadap penguraian panas semakin meningkat.
3. Hasil uji porositas dan pengembangan ketebalan menunjukkan paduan aspal karbosil semakin menurun.
4. Hasil uji kuat tekan menunjukkan paduan aspal karbosil memiliki ketahanan retakan yang cukup tinggi pada perbandingan aspal karbosil 3:7 yaitu 18,42 N/mm<sup>2</sup>
5. Dari analisis di atas dapat disimpulkan bahwa paduan aspal karbosil dengan perbandingan aspal karbosil 3:7 merupakan paduan paling baik dari perbandingan komposisi paduan lainnya.

## **B. Saran**

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melanjutkan perbandingan komposisi mulai AK7 perbandingan aspal-karbosil 3,5:6,5 sampai AK10 untuk membandingkan dan mencari perbandingan yang lebih baik lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung, G. F., M. R. Hanafie, and P. Mardina. 2013. Ekstraksi silika dari abu sekam padi dengan pelarut KOH. *Konversi*. Vol. 2. No. 1. Hal 28-31.
- Aminullah, Rohaeti, E., and Irzaman. 2015. Reduction of High Purity Silicon From Bamboo Leaf As Basic Material in Development of Sensors Manufacture in Satellite Technology. *Journal Procedia Environmental Sciences*. Vol. 24. Hal. 308-316.
- Amu, O., and Adetuberu, A. 2010. Characteristics of Bamboo Leaf Ash Stabilization on Lateritic Soil in Highway Construction. *International Journal of Engineering and Technolog*. Vol. 2. No. 4. Hal. 212-219.
- Aquina, H., Saleh, S.M., and 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.
- Ardianiswari, D. W., Josalina., Haritsah, H., and Sembiring, S. 2020. Karakteristik Termal dan Fungsionalitas Komposit Silika Sekam Padi dengan Aspal. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 8. NO. 1. Hal 101-108.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Produksi Padi Menurut Provinsi (Ton)*. BPS-Statistics Indonesia. Jakarta.
- Bakar, Rohani A., Yahya R., and Gan, S. N. 2016. Production of high purity amorphous silica from rice husk. *Journal of Procedia Chemistry*. Vol. 19. Hal. 189-195.
- Becker Y, Mendez P. M., and Rodriguez Y. 2001. Polymer modified asphalt. *Vis Techlo*. Vol. 9. No. 1. Hal. 39-48.
- Bhadeshia, H. K. D. H. 2002. *Thermal Analysis Techniques*. University of Cambridge. United Kingdom.
- Brindley, G. W., and Brown, G. 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. *Journal Clay Minerals*. Vol. 16. No. 5. Hal. 217-219.
- Brinker, C. J. And Scherer, G. W. 1990. Sol Gel Science The Pyhsics and Chemistry of Sol Gel Processing. United State of America. *Academic Press*.

- Callister, W. D. Jr. 2003. *Materials Science and Engineering an Introduction*. John Wiley and Sons Inc. USA.
- Cao, W. 2007. Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process. *Construction and Building Material*. Vol. 21. No. 5. Hal. 1011-1015.
- Chaurasia, A. S., and Babu, B.V. 2005. Modeling & Simulation of Pyrolysis of Biomass: Effect of Thermal Conductivity, Reactor Temperatur and Particle Size on Product Consentrations. *Department of Chemical Engineering Birla Institute of Technology and Science*. Pilani. India.
- Chandrasekhar, S., Pramada, P. N., Raghavan, P., and Satyanarayana, K. G. 2002. Microsilica from rice husk as a possible substitute for condensed fume for high performance concrete. *Journal of Materials Science Letters*. Vol. 21. Hal. 1245-1247.
- Cortizo, M. S., Larsen, D. O., Bianchetto, H., and Alessandrini, J. L. 2004. Effect of the thermal degadation of sbs copolymers during the ageing of modified asphalts. *Polymer Degradation and Stability*. Vol. 86. No. 2. Hal. 275-282.
- Cullity, B.D. 1978. Element of X-Ray Diffraction Second Edition. *Addition-Wesley Publishing Company*. Inc. Philippines.
- Daifullah, A., Girgis, B., and Gad, H. 2003. Utilization of agro-residues (rice husk) in small waste water treatment plans. *Journal of Materials Letters*. Vol. 57. Hal. 1723-1731.
- Das, B. M. 1990. Principles of Foundation Engineering Second Edition. *PWS Kent Publishing Company*. Boston.
- Della, V. P., Kuhn, I., and Hotza, D. 2002. Rice Husk Ash as an Alternate Source for Active Silica Production. *Materials Letters*. Vol. 57. Hal. 818-821.
- Demirbas, A. 2009. Pyrolysis Mechanisms of Biomass Materials. *Energy Sources, Part A*, Vol. 31. Hal. 116–119.
- Dera, P., Lazarz J. D., Prakapenka V. B., Barkley M., and Downs R. T. 2011. New Insights into the High Pressure Polymorphism of SiO<sub>2</sub> Cristobalite. *Physics and Chemistry of Minerals*. Vol. 38. Hal. 517-529.
- Dollase, W. A. and Baur, W. H. 1976. The superstructure of meteoritic low tridymite solved by computer simulation. *Journal American Mineralogist*. Vol. 61. No. 102. Hal. 971-978.
- Eriko, A. Yuji, K. and Ryoza, N. 2017. Elute Soluble Silica Content In Rice Husk Charcoal Produced by Rice Husk Burner. *Jurnal of The Japan Institute of Energy*. Vol. 96. Hal. 271-277.
- Epps, J.A. 1986. Asphalt Pavement Modifiers. *The Magazine of Civil Engineering*.

- Ezzat, H., Badawy, S. E., Gabr, A., Zaki, E. I., and Breakah, E. 2016. Evaluation of asphalt binders modified with nanoclay and nanosilica. *Journal of Procedia Engineering*. Vol. 143. Hal. 1260-1267.
- Fernandes, I. J., Calheiro, D., Sanchez, F. A. L., Camacho, A. L. D., Rocha, Tatiana, L. A. C., Moraes, C. A. M. and Sousa, V. C. 2017. Characterization of silica produced from rice husk ash: comparison of purification and processing methods. *Materials Research*. Vol. 20. Hal. 512-518.
- Gunko, V. M., Seledets, O., Skubiszewska-Zięba, J., Ozark, V. I, Leola, R., Janusz, W., and Chibowski, S. 2000. Fumed Silica Modified Due to Pyrolysis of Methylene Chloride. *Langmuir*. Vol. 16. Hal. 374–382.
- Gururaja, M. N. and Hari, R. A. N. 2012. A Review on Recent Applications and Future Prospectus of Hybrid Composites. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*. Vol. 1. Hal. 352-355.
- Grega, Klančnik, Medved, Jožef, and Primož Mrvar. 2009. Differential thermal analysis (DTA) and differential scanning calorimetry (DSC) as a method of material investigation. *RMZ-Materials and Geoenvironment*. Vol. 57. No. 1. Hal. 127-142.
- Hara, 1986. Utilization of Agrowaste for Building Material. *International Research and Development Cooperation Division, AIST, MITI*. Japan.
- Hendarsin, L. Shirley. 2000. *Perencanaan Teknik Jalan Raya*. Politeknik Negeri Bandung Jurusan Teknik Sipil. Bandung.
- Hildayati, Triwikantoro, Faisal, H., and Sudirman. 2009. Sintesis dan Karakterisasi Bahan Komposit Karet Alam Silika. *Seminar Nasional Pasca Sarjana IX*. Departemen Fisika MIPA Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Hillstrom, Kelvin, and Mary K. Ruby. 1994. Encyclopedia of american industries. *Journal of Manufacturing Industries*. New York. Vol 1. Hal. 15-28.
- Ho, S., Church, R., Klassen, K., Law, B., Mocleod, D., and Zanzatto, L. 2006. Study of recycled polyethylene materials as asphalt modifiers. *Canadian Journal Civil Engineering*. Vol. 33. No. 8. Hal. 968-981.
- Indriyati, E.W. and Susanto, H. A. 2015. Kajian sifat-sifat reologi aspal dengan penambahan limbah ban bekas. *Jurnal Dinamika Rekayasa*. Vol. 11. No. 1. Hal. 24-28.
- Jankowska, H., A. Swiatkowski, and J. Choma. 1991. Active Carbon. *Horwood Press*. London.
- Ikram, N. and Akhtar, N. 1998. X-ray diffraction analysis of silicon prepared from rice husk Ash. *Journal of Materials Science*. Vol. 23. Hal. 2379-2381.

- Isma, S., Sembiring, S., and Simanjuntak, W. 2019. Karakteristik fungsional dan sifat fisis aspal akibat penambahan silika sekam padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 7. No. 1. Hal. 77-82.
- Ismunadji, M., Partohardjono, S. M., Syam, M., and Widjono, A. 1988. *Padi Buku 1*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Iyenagbe, B. U. And Othman, M. 2012. A Critical Assesment and New Research Directions of Rice Husk Silica Processing Metods and Properties. *Journal of Science and Technology*. Vol. 6. No. 03. Hal. 430-448.
- Kalapathy, U., Proctor, A., and Shultz, J. 2002. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *BioresourceTechnology*. Vo.73. No. 3. Hal. 257-262.
- Kamath, S. R., and Proctor, A. 1998. Silica Gel from Rice Hull Ash: Preparation and Characterization. *Journal of Cereal Chemistry*. Vo. 75. No. 4. Hal. 484-487.
- Katsuki, H., Funita, S., Watari, T., and Komarneni, S. 2005. Zsm<sup>-5</sup>/ zeolit porous carbon composite synthesis from carbonized rice husk. *Journal Microporous and Mesoporous Materials*. Vol. 86. No. 1-3. Hal. 145-151.
- Khattak, M. J., Khattab, A. and Rizvi, H. R. 2013. Characterization of carbon nano-fiber modified hot mix asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*. Vol. 40. Hal. 738–745.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas Indonesia. Depok.
- Lee, W. E. and Rainforth, W. M. 1994. *Preparation of Ceramic Samples for Microscope in Ceramic Microstructure: Property Control by Processing*. Chapman and Hall. London.
- Levien, L., Prewitt, C. T., and Weidner, D. J. 1980. Structure and Elastic Properties of Quartz at Pressure P = 1 atm. *American Mineralogist*. Vol. 65. Hal. 920-930.
- Lu, X., and Isacson, U. 2001. Modification of road bitumens with thermoplastic polymers. *Polymer Test*. Vol. 20. Hal 77–86.
- Makarim, A. K., and Suhartatik, E. 2007. *Morfologi dan Fisiologi Tanaman Padi*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Jakarta.
- Majumder, C. B., Sharma, M., and Soni, G. 2014. A simple non-conventional method to extract amorphous silica from rice husk. *Journal Bioresource Technologi*. Vol. 35. Hal. 1-5.
- Mittal, D. 1997. Silica from ash: a valuable product from waste material. *Resonance*. Vol. 2. No. 7. Hal. 64-65.

- Mohanraj, K., Kannan, S., Barathan, S., and Sivakumar, G. 2012. Preparation and characterization of nano SiO<sub>2</sub> from corn cob ash by precipitation method. *Journal Optoelectronics And Advanced Material–Rapid Communications*. Vol. 6. No. 3-4. Hal. 394-397.
- Momma, K., and Izumi, F. 2011. VESTA 3 for Three-Dimensional Visualization of Crystal, Volumetric and morphology data. *Journal of Applied Crystallography*. Vol. 44. Hal. 1272-1276.
- Muniandy, R., Aburkaba, E., and Taha, R. 2012. Effect of Mineral Filler Type and Particle Size on Asphalt-Filler Mastic and Stone Mastic Asphalt Laboratory Measured Properties. *Jurnal Department of Civil Engineering*. Selangor, Malaysia.
- Nasution. 2011. *Metode Research Penelitian Ilmiah*. PT Bumi Aksara. Jakarta.
- Nazari, H., Naderi, K., and Nejad, F. M. 2018. Improving aging resistance and fatigue performance of asphalt binders using inorganic nanoparticles. *Construction and Building Materials*. Vol.170. Hal. 591 –602.
- Nuryanto, A. 2008. *Aspal Buton dan Propelan Padat Jilid II Edisi Keempat*. Erlangga. Jakarta.
- Ouyang, C., Wang, S., Zhang, Y., and Zhang, Y. 2005. Low density polyethylene/silica compound modified asphalts with high temperature storage stability. *Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 101. Hal. 472-479.
- Pahlepi, R., Sembiring, S., and Pandiangan, K. D. 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. 01. No. 02. Hal. 161-169.
- Patabang, D. 2012. Karakteristik Termal Briket Arang Sekam Padi dengan Variasi Bahan Perikat. *Jurnal Mekanika*. Vol. 3. No. 2. Hal. 286-292.
- Qin, X., Shen, A., Guo, Y., Li, Z., and Zhenghua, Lv. 2018. Characterization of Asphalt Mastics Reinforced with Basalt Fibers. *Construction and Building Materials*. Vol. 159. Hal. 508–516.
- Read, J. dan Whiteoak, D. 2003. *The Shell Bitumen Hand Book Fifth Edition*. Thomas Telford. London.
- Simanjuntak W., Sembiring S., and Sebayang K. 2012. Effect of pyrolysis temperatures on composition and electrical conductivity of carbosil prepared from rice husk. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol. 12. No. 2. Hal. 119-125.

- Sembiring, S., and Karo Karo, P. 2007. Pengaruh suhu kalsinasi terhadap karakteristik termal dan mikrostruktur silika sekam padi. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 13. No.3. Hal. 233-239.
- Sembiring, M. and T. Sinaga. 2003. Arang Aktif (Pengalanan dan Proses Pembuatannya). *Digital library*. Universitas Sumatera Utara. Medan. Hal. 1-8.
- Sembiring, S., Riyanto, A., Situmeang, R., and Sembiring, Z. 2019. Bituminous Composite Comprsing Amorphous Silica from Rice Husks. *journal of ceramic*. Vol. 63. No. 3. Hal. 277-284.
- Sembiring, S., Riyanto, A., Firdaus, I., Junaidi., Ningtias, E. A., Situmeang, R. 2021. Structural Characterisation of Asphalt-Rice Husk Silica Composites. *Ceramics-Silikáty*. Vol 65. No. 3. Hal. 215-223.
- Setiabudi, A., Hardian, R., and Mudzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. UPI Press. Bandung.
- Shafabakhsh, G., and Ani, O. J. 2015. Experimental Investigation of Effect of Nano TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> Modified Bitumen on the Rutting and Fatigue Performance of Asphalt Mixtures Containing Steel Slag Aggregates. *Journal of Construction and Building Materials*. Vol. 98. Hal. 692–702.
- Shell, B. 2003. *The Shell Bitumen Hand Book*. Published by Shell Bitumen. Uniter Kingdom.
- Shi, X., Cai, L., Xu, W., Fan, J., and Wang, X. 2017. Effects of nano-silica and rock asphalt on rheological properties of modified bitumen. *Construction and Building Materials*. Vol. 161. Hal. 705-714.
- Singh, S. K., Mohanty, B. C. and Basu, S. 2002. Synthesis of SiC from rice husk in a plasma reactor. *Bulletin Material Science*. Vol. 25. Hal. 561–563.
- Smallman, R. E. and Bishop, R. J. 2002. *Metalurgi Fisika Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta
- Sriyanti, Taslimah, Nuryono, and Narsito. 2005. Sintesis bahan hibrida aminosilika dari abu sekam padi melalui proses sol gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 8. No 1. Hal. 1-8.
- Sugita, S. 1993. On the economic production of large quantities of highly reactive rice husk ash. *International Journal of Sains and Research*. Vol. 2. No. 9. Hal. 3-71.
- Sugiyarto, K. H. 2012. *Kimia Anorganik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit. Jakarta.

- Surdia, T., and Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan Keempat*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Sotandde, O. A., Oluwadare, A. O., Ogedoh, O., and Adeogun, P. F. 2012. Evaluation of cement-bonded particle board produced from afzelia africana wood residues. *Journal of Engineering Science and Technology*. Vol. 7. No. 6. Hal. 732 - 743.
- Theeba, M., Robert T. Bachmann, Illani Z.I, Zulkefli M., Husni M.H.A and Samsuri A.W. 2012. Characterization of local mill rice husk charcoal and its effect on compost properties. *Journal of Soil Science*. Vol. 16. Hal. 89-102.
- Todkar, B. J., Deorukhkar O. A., and Deshmukh, S. M., 2016.Extraction of Silica from Rice Husk.*International Journal of Engineering Research and Development*.Vol. 12. No. 3. Hal. 69-74.
- Trisilvana, R. P., Krisna, P. S., Djakfar, L., and Bowoputro, H. 2011. Pengaruh Penambahan Bahan Alami Lateks (Getah Karet) Terhadap Kinerja Marshall Aspal Porus. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol 34. Hal 112-119.
- Velmurugan, P., Jaehong, S., Kui-Jae., Min, C., Sung-Sik, L., Sang-Ki, S., Kwang-Min, C., Keuk-Soo, B., and Byung-Taek, O. 2015. Extraction, Characterization, And Catalytic Potential Of Amorphous Silica From Corn Cobs By Sol Gel Method. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry*. Vol. 29. Hal. 298-303.
- Vlack, L. H. V. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Non Logam), Edisi kelima*. Erlangga. Jakarta.
- 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.
- Wignall, A. 1999. *Proyek Jalan: Teori dan Praktek*. Erlangga. Jakarta.
- Xu, L., Long, T., and Guo, Q. 2010. An Easy Method to Control Carbon Content in Carbosils. *Mater Manuf Processes*. Vol. 25. Hal. 654–657.
- Yang, J., and Tighe, S. 2013. A review of advances of nanotechnology in asphalt mixtures. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*.Vol. 96. Hal. 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. Hal. 1619-1630.

- Yildirim, Y. 2007. Polymer modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*. Vol. 21. No. 1. Hal. 66-72.
- Zhang, X., He, J. X., Huang, G., Zhou, C., Feng, M. M., and Li, Y. 2019. Preparation and characteristics of ethylene Bis (stearamide) based graphene modified asphalt. *Journal Materials*. Vol. 12. No. 757. Hal. 1 -19.
- Zhang, Z., Wu, Q., and Zhao, Z. (2011). Evaluation of sasobit warm mix rubber asphalt properties. *Proceedings of the 3rd International Conference on Transportation Engineering*. Vol. 61. Hal. 1932-1938.
- Zieba, J. S., Charmas, B., Leboda, R., Staszczuk, P., Kowalczyk, P., and Oleszczuk, P. 2002. Effect of hydrothermal modification on the porous structure and thermal properties of carbon–silica adsorbents (carbosils) *Mater Chem Fis*. Vol. 78. No. 2. Hal. 486–494.