

**KARAKTERISTIK FUNGSIONALITAS DAN MIKROSTRUKTUR  
ASPAL-KARBOSIL KOMPOSIT**

**Tesis**

Oleh

**ENDAH AYU NINGTIAS**



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

## ABSTRAK

### KARAKTERISTIK FUNGSIONALITAS DAN MIKROSTRUKTUR ASPAL-KARBOSIL KOMPOSIT

Oleh

ENDAH AYU NINGTIAS

Sintesis karbosil telah dilakukan dengan bahan dasar silika sekam padi dengan metode pirolisis dan metode pencampuran aspal-karbosil yang digunakan yaitu metode padatan. Komposit aspal-karbosil dengan massa aspal masing-masing sampel 0 g; 1,0 g; 1,5 g; 2,0 g; 2,5 g; dan 3,0 g, sedangkan massa karbosil masing-masing sampel 10 g; 9 g; 8,5 g; 8 g; 7,5 g; dan 7 g. Perubahan gugus fungsi, dan mikrostruktur komposit aspal-karbosil dipengaruhi oleh variasi perbandingan aspal-karbosil yang digunakan. Hasil FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi O-H, Si-O-Si, Si-O, C-H, dan C=O. Selain itu, hasil analisa SEM menunjukkan adanya retakan dan gumpalan yang bervariasi pada masing-masing sampel. Komposisi unsur yang terbentuk sampel aspal-karbosil adalah C, Si, O, dan N. Penambahan kandungan aspal menyebabkan persentase C meningkat. Hasil uji fisis menunjukkan bahwa semakin banyak aspal yang ditambahkan maka nilai densitas meningkat dan nilai daya serap menurun, selain itu, nilai kekerasan tertinggi pada sampel dengan perbandingan aspal karbosil 30:70 sebesar 139,97 kgf/mm<sup>2</sup>. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposit aspal-karbosil mempunyai potensi sebagai bahan campuran untuk jalan raya.

**Kata kunci:** sekam padi, karbosil, aspal, *FTIR*, *SEM*, metode pirolisis, aspal-karbosil.

## ABSTRACT

### FUNCTIONALITY CHARACTERISTICS AND MICROSTRUCTURE OF ASPHALT-CARBOSIL COMPOSITES

By

ENDAH AYU NINGTIAS

Synthesis carbosil has been carried out with the basic material of rice husk silica using the pyrolysis method and the asphalt-carbosil mixing method which used was the solids method. Asphalt-carbosil composites with asphalt mass for each samples are; 0 g; 1.0 g; 1.5 g; 2.0 g; 2.5 g; and 3.0 g, while the carboxyl mass of each samples are 10 g; 9 g; 8.5 g; 8 g; 7.5 g; and 7 g. Changes of the functional groups and the microstructure of the asphalt-carbosil composite were affected by the variation of the asphalt-carbosil ratio. The FTIR results shows the presence of functional groups O-H, Si-O-Si, Si-O, C-H, and C=O. In addition, the results of the SEM analysis shows that there are various cracks and lumps in each sample. The elemental compositions of the asphalt-carbosil samples are C, Si, O, and N. The addition of asphalt content causes the increasing of C percentage. The results of the physical test shows that the more asphalt was added, the density value increases and the absorption value decreases, in addition, the highest hardness value in the sample with a ratio of 30:70 carbosil asphalt is 139.97 kgf/mm<sup>2</sup>. The results of this study indicates that the asphalt-carbosil composite has the potential as a mixture for highways.

**Keywords:** rice husk, carbosil, asphalt, FTIR, SEM, pyrolysis method, asphalt-carbosil.

**KARAKTERISTIK FUNGSIONALITAS DAN MIKROSTRUKTUR  
ASPAL-KARBOSIL KOMPOSIT**

**Oleh**

**Endah Ayu Ningtias  
1927041009**

**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  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

Judul Tesis : **Karakteristik Fungsionalitas dan Mikrostruktur Aspal - Karbosil Komposit**

Nama Mahasiswa : **Endah Ayu Ningtias**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1927041009

Jurusan : Fisika

Program Studi : Magister Fisika

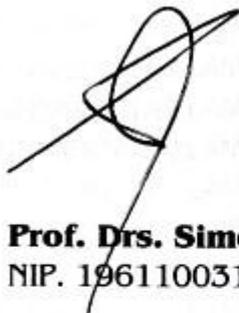
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

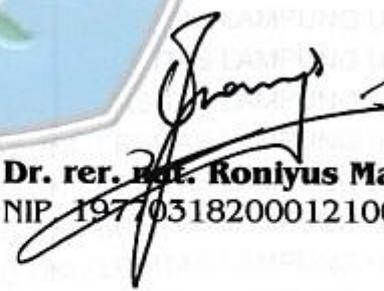


Pembimbing I

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing II

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

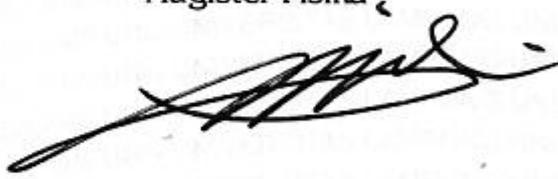
  
**Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, M.Si.**  
NIP. 197703182000121003

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

Sekretaris : **Dr. rer. nat. Ronlyus Marjunus, M.Si.** .....

Penguji Anggota : 1. **Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D** .....

2. **Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si** .....

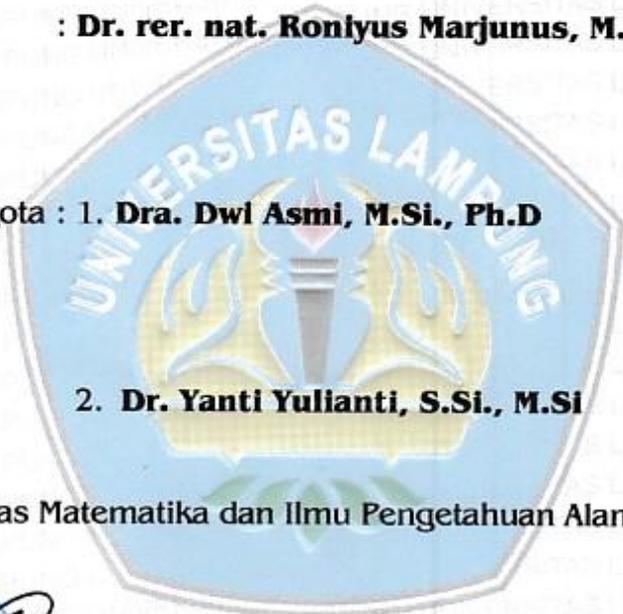
### 2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**Dr. Eng. Sripto 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: **24 November 2021**



.....  
.....  
.....  
.....

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini yang berjudul “**Karakteristik Fungsionalitas dan Mikrostruktur 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.



Bandar Lampung,

Endah Ayu Ningtias  
NPM 1927041009

## **RIWAYAT HIDUP**



Penulis dilahirkan di Bandung Kabupaten Jawa Barat, pada tanggal 06 September 1996, penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Supratikno dan Ibu Sri Winarsih. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 1 Kalirejo pada Tahun 2008, Sekolah Menengah Pertama di SMP 03 Pringsewu pada Tahun 2011, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 01 Gedongtataan pada Tahun 2014.

Pada tahun 2019 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 berbasis komposit di Program Studi Magister Fisika, Universitas Lampung.

## MOTTO

**“Bertaqwalah kepada Allah, maka Dia akan membimbingmu.  
Sesungguhnya Allah mengetahui segala sesuatu”.**

**(Qs. Al Baqarah: 282)**

**“Waktu bagaikan pedang. Jika engkau tidak memanfaatkannya  
dengan baik (untuk memotong), maka ia akan memanfaatkanmu  
(dipotong) ”.**

**(HR. Muslim)**

**Teruslah berusaha dan berdoa. Karena tidak ada usaha yang  
mengecewakan hasil dan Allah tidak akan membebani seseorang  
melainkan sesuai kesanggupannya.**

## **PERSEMBAHAN**

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

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

“Motivator terhebat dalam hidupku dan kakak serta adikku 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**

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kesehatan dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “**Karakteristik Fungsionalitas dan Mikrostruktur Aspal – Karbosil Komposit**”. Adapun tujuan penulisan tesis ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Sains dari Universitas Lampung.

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

Bandar Lampung,  
Penulis,

**Endah Ayu Ningtias**

## SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas kuasa-Nya 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. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D., sebagai Pembimbing I dan sebagai Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan selama penelitian, dan memberikan arahan dalam penyelesaian tesis penulis.
2. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, M.Si., sebagai Pembimbing II yang memberikan masukan serta nasehat dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D., sebagai Penguji I yang telah memberi kritik dan saran kepada penulis selama penulisan tesis.
4. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si sebagai Penguji II yang telah memberi kritik dan saran kepada penulis selama penulisan tesis dan selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Rektor Universitas Lampung Prof. Dr. Karomani M.Si.
6. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M. T.
7. Direktur Program Pascasarjana Prof. Dr. Ahmad Soudi Samosir, S.T., M.T..

8. Kedua orang tua penulis Bapak Supratikno dan Ibu Sri Winarsih yang tiada henti memberi semangat dan do'a kepada penulis.
9. Partner terbaik suamiku Alifan Mahmud dalam memberikan semangat, memberikan masukan dan tempat berkeluh kesah.
10. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
11. Para dosen dan staf di Jurusan Fisika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
12. Gita kusumawardani, Liana Endah, Edi siswanto, dan Mifa endah serta keluarga atas semangat dan bantuan yang diberikan kepada penulis.
13. Teman seperjuangan penelitian Liyana Mardova yang sampai saat ini selalu memberi masukan maupun sebagai tempat diskusi dan Angkatan 2019 Program Pascasarjana Fisika yang membantu dan memberikan semangat penulis dalam proses menyelesaikan tesis.
14. Amilia Rasitiani yang selalu memberikan masukan dan semangat.

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

Bandar Lampung, November 2021

Penulis,

Endah Ayu Ningtias

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	v
<b>LEMBAR 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 GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xviii
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah .....	5
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Batasan Masalah .....	6
E. Manfaat Penelitian.....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Aspal.....	7
1. Jenis Aspal.....	8
a. Aspal Alam.....	8
b. Aspal Buatan .....	9
2. Karakteristik Aspal.....	10
3. Aspal Modifikasi .....	11
a. Aspal Polimer .....	11
b. Aspal Komposit.....	13
B. Karbosil.....	15
C. Metode Pirolisis .....	17

D. FTIR.....	20
1. Prinsip kerja FTIR .....	21
2. Aplikasi FTIR .....	22
E. SEM .....	26
F. Densitas.....	33
G. Daya Serap.....	34
H. Kekerasan Vicker.....	34

### III. METODELOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	36
B. Alat dan Bahan Penelitian .....	36
1. Alat .....	36
2. Bahan .....	37
C. Preparasi Sampel .....	37
1. Preparasi Sekam Padi .....	37
2. Preparasi Karbosil .....	37
3. Preparasi Paduan Aspal Karbosil .....	38
4. Pembuatan Pelet Paduan Aspal Karbosil .....	38
D. Karakterisasi Sampel .....	39
1. Karakterisasi SEM-EDS .....	39
2. Karakterisasi FTIR .....	39
3. Uji Densitas .....	41
4. Uji Daya Serap .....	42
5. Uji Kekerasan .....	42
6. Diagram Alir.....	42

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Karakterisasi FTIR.....	46
1. Identifikasi Gugus Fungsi Aspal Karbosil Komposit.....	46
2. Pengaruh Komposisi Aspal Karbosil Terhadap Gugus Fungsi .....	53
B. Hasil Karakterisasi SEM .....	54
1. Analisis Topografi .....	55
2. Analisis Morfologi.....	57
C. Densitas .....	61
D. Daya Serap Air .....	62
E. Kekerasan .....	64

### V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	66
B. Saran .....	67

### DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 1.</b> Aspal .....	7
<b>Gambar 2.</b> Rangkain Alat Pirolisis .....	18
<b>Gambar 3.</b> Prinsip Kerja FTIR .....	21
<b>Gambar 4.</b> Spektra FTIR Aspal Alam (NA) dan Aspal Buatan (PA) .....	23
<b>Gambar 5.</b> Spektrum FTIR sampel karbosil disiapkan di suhu pirolisis yang berbeda a.200 °C, b. 400 °C, dan c. 700 °C .....	23
<b>Gambar 6.</b> Spektrum FTIR sampel dengan penambahan silika sekam padi.....	25
<b>Gambar 7.</b> Skema SEM .....	27
<b>Gambar 8.</b> Skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam SEM .....	28
<b>Gambar 9.</b> Proses Terbentuknya Sinar-X.....	30
<b>Gambar 10.</b> Scanning electron microscopy (SEM) sampel karbosil pada suhu pirolisis yang berbeda a. 200 °C, b. 400 °C, dan c. 700 °C.....	30
<b>Gambar 11.</b> EDS sampel karbosil pada suhu pirolisis yang berbeda a. 200 °C, b. 400 °C, dan c. 700 °C .....	31
<b>Gambar 12.</b> Hasil analisis SEM-EDS silika sekam padi .....	32
<b>Gambar 13.</b> Mikrostruktur aspal buatan (PA) dan aspal alam (NA).....	33
<b>Gambar 14.</b> Prinsip kerja metode pengukuran kekerasan Vickers .....	35
<b>Gambar 15.</b> Preparasi Sekam Padi. ....	43
<b>Gambar 16.</b> Preparasi Karbosil.....	44

<b>Gambar 17.</b> Panduan Aspal Karbosil .....	45
<b>Gambar 18.</b> Hasil analisis FTIR sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 0:100.....	47
<b>Gambar 19.</b> Hasil analisis FTIR sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 10:90.....	48
<b>Gambar 20.</b> Hasil analisis FTIR sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 15:85.....	49
<b>Gambar 21.</b> Hasil analisis FTIR sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 20:80.....	50
<b>Gambar 22.</b> Hasil analisis FTIR sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 25:75.....	51
<b>Gambar 23.</b> Hasil analisis FTIR sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 30:70.....	52
<b>Gambar 24.</b> Hasil analisis FTIR sampel aspal-karbosil dengan Perbandingan (a) 0:100; (b) 10:90; (c) 15:85; (d) 20:80; (e) 25:75; dan (f) 30:70 .....	53
<b>Gambar 25.</b> Hasil analisis topografi SEM dengan perbandingan (a) 0:100, (b) 10:90, (c) 15:85, (d) 20:80, (e) 25:75, dan (f) 30:70 .....	55
<b>Gambar 26.</b> Hasil analisis morfologi dan EDS sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 0:100 .....	57
<b>Gambar 27.</b> Hasil analisis morfologi dan EDS sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 10:90 .....	58
<b>Gambar 28.</b> Hasil analisis morfologi dan EDS sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 15:85.....	58
<b>Gambar 29.</b> Hasil analisis morfologi dan EDS sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 20:80 .....	59
<b>Gambar 30.</b> Hasil analisis morfologi dan EDS sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 25:75 .....	59
<b>Gambar 31.</b> Hasil analisis morfologi dan EDS sampel aspal-karbosil dengan perbandingan 30:70 .....	60
<b>Gambar 32.</b> Hasil uji densitas.....	62
<b>Gambar 33.</b> Hasil uji daya serap.....	63
<b>Gambar 34.</b> Hasil uji kekerasan.....	64

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 1.</b> Komposisi senyawa kimia aspal alam.....	8
<b>Tabel 2.</b> Komposisi Unsur Kimia Aspal Alam.....	9
<b>Tabel 3.</b> Komposisi Unsur Kimia Aspal Buatan .....	9
<b>Tabel 4.</b> Puncak spektra gugus fungsi karbosis berbasis sekam padi dengan variasi suhu pirolisis .....	24
<b>Tabel 5.</b> Puncak serapan gugus fungsi silika sekam padi serta paduan silika sekam padi dan aspal.....	54
<b>Tabel 6.</b> Puncak serapan gugus fungsi silika sekam padi serta paduan silika sekam padi dan aspal.....	61

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Aspal merupakan material pengikat dan pengisi, berwarna hitam atau coklat tua. Komposisi aspal tersusun dari karbon 82-88 %, hidrogen 8-11 %, belerang 0-6 %, oksigen 0-1,5 % dan nitrogen 0-1 % (Shell, 2003). Aspal dihasilkan dari minyak mentah yang dipilih melalui proses destilasi minyak bumi. Proses penyulingan ini dilakukan dengan pemanasan hingga suhu 350°C di bawah tekanan atmosfer untuk memisahkan fraksi-fraksi ringan, seperti gasoline (bensin), kerosene (minyak tanah), dan gas oil (Wignall, 1999). Pada suhu ruang aspal berbentuk padat dan bersifat termoplastis. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal campuran. Jika suhu mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (Sukirman, 2003).

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

meningkatkan kinerja aspal. Saat ini, beberapa bahan telah digunakan untuk memperbaharui karakteristik, membantu menahan efek suhu, dan efek beban aspal (Loeber *et al.*, 1996). Salah satu bahan yang dapat digunakan adalah silika (Sembiring dkk., 2019).

Silika adalah bahan baku utama pada industri gelas, keramik, untuk produksi larutan silikat, silikon dan paduan (Agung dkk., 2013). Silika dapat diperoleh dari bahan baku kimia, alami, dan limbah. Beberapa bahan kimia dan mineral yang telah digunakan di antaranya adalah abu silika (Shukur dkk., 2014), silika komersil (Lin dkk., 2007), pasir silika (Rashid dkk., 2014), diatomite (Puntharod dkk., 2013), TEOS (Sun dkk., 2013; Chen dkk., 2010), *fumed silica* (Chakradhar dkk., 2006) dan natrium silikat (Mehrali dkk., 2014). Sementara itu, bahan limbah organik untuk sumber silika di antaranya adalah tongkol jagung (Mohanraj dkk., 2012), daun bambu (Aminullah dkk., 2015), ampas tebu (Amin dkk., 2016), rumput gajah (Matchi dkk., 2016), alang-alang (Kow dkk., 2014) dan yang paling banyak digunakan adalah sekam padi (Chandrasekhar dkk., 2002). Sekam padi merupakan residu pertanian yang sangat berlimpah dan diketahui mengandung senyawa organik dan silika. Berdasarkan beratnya, sekam padi tersusun dari 80-85% komponen organik, terutama selulosa, hemiselulosa, dan lignin, dan 15-20% adalah abu mineral (Simanjuntak dkk., 2012).

Silika sekam padi dapat diperoleh dengan beberapa metode seperti metode alkalis (Daifullah dkk., 2003; Adam dkk., 2011; Zulkifli dkk., 2011), metode pengendapan atau presipitasi (Jal dkk., 2004; Liou dan Yang, 2011), metode hidrotermal (Hsieh dkk., 2009), metode termo-kimia (Zaky dkk., 2008; An dkk.,

2011), dan metode *leaching* (Umeda dkk., 2007; Estevez dkk., 2009). Dari beberapa metode tersebut, metode alkalis adalah metode yang paling banyak digunakan untuk sintesis silika (Le dkk., 2013) karena metode alkalis menggunakan biaya yang relatif murah, teknik yang sederhana, dapat homogenitas ukuran yang tinggi, distribusi ukuran yang merata, dan kemurnian yang tinggi (Rahman dan Padavettan, 2012).

Silika dari sekam padi menarik untuk dikembangkan karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan silika mineral. Silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Dengan kelebihan tersebut, menunjukkan silika sekam padi berpotensi cukup besar untuk digunakan sebagai sumber silika, yang merupakan bahan material yang memiliki aplikasi yang cukup luas penggunaannya (Sun dan Gong, 2001).

Silika merupakan salah satu material yang dapat dicampurkan untuk modifikasi aspal karena silika memiliki karakteristik yang unik seperti luas permukaan dan volume yang besar, struktur pori yang teratur (Chavan dkk., 2008), adsorbansi yang baik, dan kestabilan yang baik (Gupta dkk., 2008). Selain silika, penambahan karbon pada aspal juga dapat dilakukan untuk memperbaharui karakteristik aspal. Suroso (2004) menyebutkan dalam penelitiannya, pada skala pabrik karbon dibuat dari senyawa hidrokarbon yang dibakar dengan teknik tertentu. Karbon berbentuk serbuk yang sangat halus, hitam, dan hidrofobik. Penambahan karbon pada aspal berperan sebagai penguat, lebih tahan terhadap

kerusakan (deformasi), dan lebih awet dari aspal biasa. Salah satu bahan berkarbon yang dapat digunakan dalam modifikasi aspal adalah karbosil.

Karbosil merupakan komposit dari karbon dan silika yang telah menarik minat peneliti karena komposit ini adalah bahan karbon-mineral yang menjanjikan untuk berbagai jenis aplikasi. Karbosil memiliki karakteristik yang menarik seperti tahan dan stabil pada suhu tinggi (Chen dkk, 2004), struktur amorf yang mudah bereaksi, porositas tinggi, dan luas permukaan yang besar. Karbosil dapat diperoleh dengan bahan baku silika dan metilen klorida (Xu dkk., 2010), silika dan styrene berpori (Gunko dkk., 2000), dan sekam padi dengan metode pirolisis (Simanjuntak dkk., 2012). Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu bahan melalui proses pemanasan tanpa atau dengan oksigen terbatas yang diharapkan karbon tidak menguap dan dapat membentuk karbosil (Ridhuan, 2019).

Modifikasi aspal yang saat ini telah dilakukan untuk memperbaharui karakteristik aspal yaitu silika yang dapat meningkatkan kinerja anti-penuaan, kinerja retak leleh, dan properti anti pengupasan dari pengikat aspal (Yang dan Tighe, 2013). Berdasarkan sifat tersebut, Enieb dan Diab (2017) menggunakan nanosilika sebagai bahan pengikat dalam campuran aspal untuk ketahanan pada trotoar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nanosilika memiliki pengaruh positif yang dapat digunakan untuk membangun trotoar yang tahan lama.

Berdasarkan paparan di atas, hingga saat ini belum ada penelitian tentang modifikasi aspal dengan karbosil. Oleh karena itu, dengan sifat yang dimiliki silika dan karbon peneliti tertarik melakukan penelitian dengan menggabungkan karbon dan silika (karbosil) sebagai material komposit pada modifikasi aspal yang

diharapkan dapat memperbaharui karakteristik aspal. Karbosil pada penelitian ini dihasilkan dari sekam padi dengan metode pirolisis. Untuk mengetahui gugus fungsional dilihat melalui karakterisasi *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui struktur mikro, serta uji densitas, daya serap, dan kekerasan untuk mengetahui sifat fisis dan mekaniknya.

## **B. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana gugus fungsi yang terbentuk dari aspal yang dipadukan dengan kabosil berbahan dasar sekam padi?
2. Bagaimana mikrostruktur dan komposisi unsur aspal yang dipadukan dengan kabosil berbahan dasar sekam padi?
3. Bagaimana sifat fisis (densitas, daya serap, dan kekerasan) aspal yang dipadukan dengan kabosil berbahan dasar sekam padi?

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui gugus fungsi yang terbentuk dari aspal yang dipadukan dengan kabosil berbahan dasar sekam padi.
2. Mengetahui mikrostruktur dan komposisi unsur aspal yang dipadukan dengan kabosil berbahan dasar sekam padi.
3. Mengetahui sifat fisis (densitas, daya serap, dan kekerasan) aspal yang dipadukan dengan kabosil berbahan dasar sekam padi.

#### **D. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis karbosil menggunakan bahan dasar sekam padi.
2. Variasi massa karbosil dan aspal yang digunakan yaitu dengan perbandingan 0:100; 10:90; 15:85; 20:80; 25:75; dan 30:70 .
3. Uji fisis yang dilakukan meliputi densitas, daya serap, dan kekerasan.
4. Karakteristik sampel yang dilakukan meliputi *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM/EDS).

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

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menyintesis, mengetahui gugus fungsi, mikrostruktur, dan sifat fisis (densitas, daya serap, dan kekerasan) paduan aspal dengan karbosil berbahan dasar sekam padi;
2. Menjadi bahan acuan bagi penelitian berikutnya yang ingin meneruskan pembuatan paduan aspal dengan karbosil berbahan dasar sekam padi;
3. Hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi industri sebagai alternatif dalam pemilihan bahan dasar campuran aspal.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Aspal

Aspal adalah material berwarna hitam atau kecoklatan yang memiliki sifat termoplastis, dalam suhu ruang berbentuk padat/semi-padat, tetapi pada suhu tinggi aspal berbentuk cair yang dapat dicampur dengan agregat apabila suhu tinggi dipertahankan. Aspal kembali ke bentuk padat/semi-padat saat suhu menurun dan dapat digunakan sebagai material campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10 % berdasarkan berat campuran, atau 10-15 % berdasarkan volume campuran (Speight, 2016).



**Gambar 1.** Aspal (Qin dkk., 2018).

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan pengikat dan bahan pengisi. Sebagai bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal. Sebagai bahan pengisi,

mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri. Untuk dapat memenuhi fungsi aspal tersebut dengan baik, maka aspal harus memiliki sifat adhesi dan kohesi, daya tahan, kepekaan aspal terhadap temperatur, pengerasaan, dan anti-penuaan (Arifin dkk., 2008).

## 1. Jenis Aspal

Ditinjau dari proses pembentukannya, aspal diklasifikasikan menjadi dua yaitu aspal alam dan aspal buatan.

### a. Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang diperoleh pada tempat di alam dengan sedikit pengolahan. Berbeda dengan aspal minyak yang membutuhkan eksplorasi hingga kedalaman ribuan meter, aspal jenis ini tidak memerlukan eksplorasi yang sangat dalam karena biasanya sudah dapat ditemui di kedalaman 1,5 meter, bahkan di permukaan bumi. Aspal alam yang berbentuk batuan dapat diperoleh di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara yang biasa disebut asbuton (aspal buton) sementara aspal alam yang bersifat plastis dapat ditemukan di Danau Pitch, Trinidad. Komposisi aspal alam ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

**Tabel 1.** Komposisi Senyawa kimia Aspal Alam (Hadiwisastra, 2009).

Senyawa Kimia	Presentase (%)
CaCO <sub>3</sub>	81,62-85,27
MgCO <sub>3</sub>	1,98-2,25
CaSO <sub>4</sub>	1,23-1,70
CaS	0,17-0,33
H <sub>2</sub> O	1,30-2,16
SiO <sub>2</sub>	6,95-8,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,15-2,85
LOI	0,83-1,12

**Tabel 2.** Komposisi Unsur Kimia Aspal Alam (Nciri dkk., 2016).

<b>Unsur Kimia</b>	<b>Nilai (%)</b>
Karbon	79,01
Hidrogen	9,11
Nitrogen	0,95
Belerang	0,72
Oksigen	1,38
Arom H/C	1,38

### **b. Aspal Buatan**

Aspal buatan berasal dari residu destilasi minyak bumi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nciri dkk. (2016) terhadap aspal buatan diperoleh komposisi kimia aspal yang ditunjukkan seperti pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Komposisi Unsur Kimia Aspal Buatan (Nciri dkk., 2016)

<b>Unsur Kimia</b>	<b>Nilai (%)</b>
Karbon	87,66
Hidrogen	10,14
Nitrogen	0,44
Belerang	6,29
Oksigen	0,29
Arom H/C	1,38

Aspal buatan diklasifikasikan menjadi aspal keras, aspal cair, dan aspal emulsi. 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 ruang). Aspal keras memiliki tingkat kekerasan yang tinggi dan digunakan dalam keadaan cair dan panas untuk pembuatan *asphalt concrete*. Aspal keras umumnya dipakai menjadi bahan baku pembentuk jalan aspal (Thanaya dkk., 2016).

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 *cut back asphalt* berbentuk cair dalam temperatur ruang. Aspal cair digunakan untuk keperluan pengikat bahan bangunan (Sukirman, 2003).

Aspal emulsi adalah campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Pada proses ini partikel-partikel aspal padat dipisahkan dan didispersikan dalam air dan dikeraskan memakai bahan pengemulsi. Aspal emulsi pada umumnya mempunyai sifat dapat menembus pori-pori halus dalam batuan yang tidak dapat dilalui oleh aspal cair biasa. Kelebihan-kelebihan dari aspal emulsi ialah gampang digunakan, memiliki daya ikat yang baik, dan tahan terhadap cuaca yang ekstrim (Nciri dkk., 2017).

## **2. Karakteristik Aspal**

Aspal tersusun dari dua jenis kimia yang dominan, yaitu *asphaltenes* dan *maltenes*. *Asphaltenes* adalah senyawa berwarna hitam atau coklat tua yang mengandung karbon, hidrogen, sedikit nitrogen, sulfur, dan oksigen. Senyawa *asphaltenes* yang tinggi akan menyebabkan aspal menjadi keras ditunjukkan dengan nilai penetrasi yang rendah. Biasanya kandungan *asphaltenes* berkisar antara 5 % - 25 %. Sedang *maltenes* mengandung senyawa *saturates*, *aromatic* dan *resins*. Kandungan *resins* 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).

### 3. Aspal Modifikasi

Aspal umumnya berfungsi sebagai bahan pengikat dan pengisi. Sebagai pengikat dan pengisi, aspal yang digunakan harus bersifat *durability* (mempunyai daya tahan), kohesi dan adhesi, serta kepekaan terhadap temperatur (Hendrarsin, 2000). Oleh karena itu, diperlukan modifikasi pada aspal untuk memperoleh sifat yang diinginkan. Ada dua jenis material yang saat ini digunakan untuk modifikasi aspal yaitu polimer dan komposit.

#### a. Aspal Polimer

Aspal polimer adalah material yang dihasilkan dari modifikasi antara polimer alam atau polimer sintesis dengan aspal. Modifikasi aspal polimer telah dikembangkan selama beberapa dekade terakhir. Penambahan polimer dilakukan untuk meningkatkan ketahanan terhadap retak dan kelekatan pada agregat (Prastanto dkk., 2015). Aspal modifikasi berbasis polimer yang telah digunakan oleh penelitian sebelumnya seperti *Styrene Butadiene Styrene* (SBS) (Cortizo dkk., 2004), *Styrene Butadiene Rubber* (SBR) (Zhang dkk., 2005), *Etilen glikidil akrilat* (EGA) terpolimer (Yildirim, 2007), dan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) (Ouyang dkk., 2005). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, SBR dapat memperbaiki suhu rendah, pemulihan elastis, kinerja perekat dan kohesif trotoar (Zhang dkk., 2005). Selain itu, *Etilen glikidil akrilat* (EGA) terpolimer dapat memperbaiki potensi kerusakan kelembaban dari campuran aspal (Yildirim, 2007). Penambahan *Styrene Butadiene Styrene* (SBS) pada aspal juga dapat memperbaiki retak kelelahan dan kinerja suhu rendah (Cortizo dkk., 2004).

Penelitian tentang aspal polimer sebelumnya telah dilakukan oleh Ritonga (2017), penelitian ini menggunakan bahan karet ban bekas. Proses pembuatan aspal polimer tersebut dilakukan dengan cara 95 % aspal dimasukkan kedalam *glass beaker*, dipanaskan pada temperatur 100 °C hingga aspal meleleh, lalu ditambahkan 5 g karet sambil diaduk selama 10 menit, ditambahkan dengan 1 g divenil benzena (DVB) dan 1 g dikumil peroksida (DCP). Menurut penelitian ini campuran aspal dan karet menunjukkan adanya serapan melebar dan intensitas lemah pada bilangan gelombang 3433,21  $\text{cm}^{-1}$  menandakan adanya gugus -OH hidroksil. Selanjutnya serapan tajam dan intensitas kuat menunjukkan adanya vibrasi regangan simetris C-H alifatis pada bilangan gelombang 2922,7  $\text{cm}^{-1}$ , didukung pemunculan serapan tajam dan kuat pada pita bilangan gelombang 1453,15  $\text{cm}^{-1}$  menandakan  $\text{CH}_2$  dan serapan tajam medium pada pita gelombang 1376,21  $\text{cm}^{-1}$  menandakan adanya  $\text{CH}_3$  serapan tajam dan lemah ditunjukkan pada pita bilangan gelombang 1601,29  $\text{cm}^{-1}$  menandakan adanya rantai alkena C=C dari karet, dan pada bilangan gelombang 698,21  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan intensitas kuat dan serapan tajam menandakan adanya ikatan =C-H karet. Selain itu, puncak lain untuk sampel aspal pada penelitian ini menunjukkan bilangan gelombang 3400  $\text{cm}^{-1}$  1032,40  $\text{cm}^{-1}$ , dan 1624,61  $\text{cm}^{-1}$  masing-masing menandakan gugus -OH, yang diperkuat dengan adanya ikatan C-O dan serapan melebar lemah dengan adanya ikatan C=C. Selanjutnya serapan tajam dan kuat terlihat pada bilangan gelombang 2921,34  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya bilangan C-H dan didukung adanya  $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}_3$  pada bilangan gelombang 1462,56  $\text{cm}^{-1}$  dan 1376,58  $\text{cm}^{-1}$ .

Dari bilangan gelombang yang dapat dilihat antara gugus fungsi aspal dan modifikasi polimer menunjukkan tingginya intensitas dari CO tetapi setelah

penambahan karet intensitasnya menjadi rendah yang mengindikasikan terjadinya ikatan silang antara aspal melalui gugus karbonil dengan karet. Hasil spektrum FTIR aspal modifikasi karet menunjukkan adanya serapan tajam dan kuat pada bilangan gelombang  $698,21\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus  $=\text{C}-\text{H}$  dari isoprene yang mengindikasikan karet ada dalam campuran aspal (Ritonga, 2017). Sedangkan pada penelitian selanjutnya oleh Holly (2017), penelitian yang dilakukan dengan penambahan limbah plastik PP (polypropylene) sebanyak 0,5 % sampai 3 % dengan aspal 400 g. Penelitian ini menunjukkan bahwa aspal yang dimodifikasi plastik jenis PP pada analisa spektroskopi yang dilakukan oleh spektrofotometri FTIR tidak menunjukkan gugus fungsi yang berbeda dari spektrum aspal dasar untuk semua sampel aspal yang dimodifikasi. Namun, puncak dominan asli yang muncul pada bilangan gelombang  $3000 - 2850\text{ cm}^{-1}$  untuk gugus  $-\text{C}-\text{H}$  alifatik,  $2400-2100\text{ cm}^{-1}$  untuk gugus ikatan rangkap tiga  $\text{C}\equiv\text{C}$  atau  $\text{C}\equiv\text{N}$ , selanjutnya bilangan gelombang  $1465\text{ cm}^{-1}$  dan  $1375\text{ cm}^{-1}$  untuk  $\text{CH}_2$  dan  $\text{CH}_3$  menunjukkan peningkatan intensitas yang bergantung pada jenis polimer dan kadar pencampurannya. Kecenderungan kenaikan intensitas puncak yang meningkat dari spektra yang berbed menunjukkan bahwa rasio polimer bisa meningkat melebihi 3 % untuk aspal yang dimodifikasi PP (polypropylene) (Holly, 2017).

#### **b. Aspal Komposit**

Salah satu bahan unggul komposit yang dapat digunakan sebagai bahan campuran aspal adalah serbuk silika (Enieb dan Diab, 2016). Silika dapat meningkatkan kinerja anti-penuaan, kinerja retak lelah, ketahanan *rutting*, dan properti anti

pengupasan dari pengikat aspal (Yang dan Tighe, 2013). Studi literatur menunjukkan bahwa ketika 1% hingga 2% silika *fume* ditambahkan ke aspal, penetrasi menurun, daktilitas berkurang, titik pelunakan meningkat, pemulihan regangan elastis meningkat dan suhu kerentanan meningkat baik (Sarsam, 2015).

Enieb dan Diab (2016) menggunakan nanosilika dengan konsentrasi 4 % dalam penelitiannya. Hasil FTIR dari bahan pengikat aspal menunjukkan spektrum yang diperoleh pada penambahan nanosilika 4 % dalam rentang  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  menghasilkan pelebaran pada bilangan gelombang  $3619 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2921 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2848 \text{ cm}^{-1}$ , masing-masing mengindikasikan interaksi gugus O-H karena adanya vibrasi regangan. Selanjutnya pada bilangan gelombang  $1602 \text{ cm}^{-1}$  juga menunjukkan vibrasi regangan dari gugus C-C, pada bilangan gelombang  $1456 \text{ cm}^{-1}$  terjadi vibrasi tekukan dari gugus C-H dan juga pada bilangan gelombang  $1030 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi regangan dari gugus sulfoksida S=O. Selanjutnya adanya vibrasi regangan pada ikatan C-Cl alkil halida dilihat semakin meningkat pada bilangan gelombang  $550-850 \text{ cm}^{-1}$ . Rantai dari kelompok fungsional menunjukkan nilai transmitansi yang spesifik dalam struktur kimia. Spektrum inframerah memperlihatkan gugus fungsi yang hampir sama dalam dua pengikat yang dimodifikasi dan tidak dimodifikasi. Namun, penambahan nanosilika tampak mempengaruhi intensitas kelompok kimia didalam aspal. Oleh karena itu, sangat mempengaruhi kinerja keseluruhan material. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penambahan nanosilika mempengaruhi gugus fungsi pada aspal yang ditunjukkan dari perubahan antar ikatan.

Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan oleh Hui dkk. (2013), penambahan nanosilika pada konsentrasi 4% dan 6% menunjukkan bahwa peningkatan oksida

terjadi setelah proses penuaan pada aspal yang dapat dilihat dari gugus karbonil C=O dan gugus C=C aromatik yang menunjukkan vibrasi regangan, masing-masing pada bilangan gelombang  $1.600\text{ cm}^{-1}$  dan  $1.690\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini berarti bahwa dengan penambahan nanosilika akan menunda proses penuaan aspal (Huidkk., 2013).

## **B. Karbosil**

Karbosil adalah salah satu material dengan komposisi pembentuknya terdiri dari silika dan karbon. Karbosil yang merupakan material adsorpsi yang baik, dapat diproduksi dari berbagai bahan baku, produk dari industri kayu (misalnya serbuk gergaji), jerami, dan sekam padi. Sekam padi merupakan salah satu bahan yang dapat digunakan untuk produksi karbosil karena berdasarkan beratnya, sekam padi tersusun 80-85 % komponen organik, terutama selulosa, hemiselulosa, lignin, dan 15-20 % abu mineral. Salah satu metode untuk memperoleh karbosil dari sekam padi yaitu dengan pirolisis. Pirolisis sekam padi di bawah kondisi anaerob diharapkan karbon yang dihasilkan akan bergabung dengan silika membentuk karbosil. Potensi ini didukung oleh temuan penelitian sebelumnya, yaitu karbon dan silika amorf dapat berasal dari sekam padi dengan proses termal dengan kandungan karbon sekitar 45 % (Simanjuntak dkk., 2012).

Karbosil merupakan paduan antara silika yang bersifat polar-anorganik dan karbon yang merupakan organik-non-polar dapat menghasilkan kemampuan adsorpsi yang lebih efektif. Silika karbon memiliki aplikasi yang luas, diantaranya sebagai pendukung katalis, adsorben, enkapsulasi, nanoreaksi, dan sebagai template pada reaksi. Kemampuan adsorpsi suatu zat dipengaruhi oleh luas

permukaan, baik itu permukaan luar ataupun permukaan dalam pada pori-pori suatu padatan, semakin besar luas permukaan suatu padatan semakin besar kemampuan adsorpsinya. Semakin kecil ukuran suatu padatan, dengan jumlah berat yang sama dibandingkan dengan padatan yang sama yang memiliki ukuran yang lebih besar, lebih luas permukaan padatan yang memiliki ukuran yang lebih kecil. Semakin banyak jumlah pori-pori suatu padatan semakin luas permukaannya. Zat adsorpsi yang baik adalah zat yang memiliki luas permukaan yang besar, yaitu yang memiliki banyak pori-pori dan ukuran partikelnya kecil (Wan, 2008).

Karbosil dapat diaplikasikan dalam bidang industri seperti katalis dan keramik karena memiliki karakteristik modulus elastis yang tinggi (Zawrah dan Shaw, 2003), tidak abrasif, densitas rendah, dapat diperbaharui, luas permukaan dan porositas tinggi (Genieva dkk., 2008), dapat menyerap zat organik dan anorganik (Puziy, 2003), dan ketahanan panas yang cukup tinggi (Eba dkk., 2002). Berdasarkan karakteristiknya, karbosil dapat dijadikan sebagai material pembuatan keramik seperti silikon Karbida (SiC) (Basha dkk., 2005) dan silikon nitrida (Real dkk., 2004). Selain itu dapat digunakan sebagai katalis seperti filter, agen pengontrol air dari komponen organik, dan absorben ion logam berat (Zukifli dkk., 2006).

### **1. Karakteristik Karbosil**

Penelitian yang dilakukan Simanjuntak dkk. (2012) menunjukkan bahwa pada karbosil sekam padi terdapat kelompok fungsional Si-O-Si dan Si-OH yang ditunjukkan dari analisis FTIR. Pembentukan karbosil juga didukung oleh hasil

analisis EDS yang menunjukkan keberadaan tiga elemen yaitu C, O, dan Si. Hasil XRD menunjukkan bahwa karbosil amorf yang menunjukkan bahwa tidak ada transformasi karbon dan silika menjadi fase kristal hingga batas suhu yang diterapkan. Hasil SEM menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, maka semakin kecil ukuran butir sampel. Pembentukan karbosil dipengaruhi oleh suhu yang diberikan, produksi karbosil menurun dengan meningkatnya suhu pirolisis.

### **C. Metode Pirolisis**

Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu bahan melalui proses pemanasan tanpa atau dengan oksigen terbatas (Rhidian, 2016; dan Kasyim, 2018). Metode pirolisis yang merupakan proses reaksi penguraian senyawa-senyawa penyusun bahan menjadi beberapa senyawa organik melalui reaksi pembakaran tanpa oksigen. Reaksi ini berlangsung pada reaktor pirolisator (Slamet, 2015) yang terdapat pada alat pirolisis.

Tahap pertama pada proses pirolisis menggunakan alat pirolisis adalah memasukkan bahan baku yang telah disiapkan ke dalam tabung pirolisis (*retort*), kemudian memasang tutupnya yang telah dilengkapi temperatur dan *pressure indicator*. Di sisi lain, bahan bakar yang disiapkan dimasukkan ke tungku pembakaran (*kiln*). Setelah itu, alat dirangkai dengan memasukkan *retort* ke dalam *kiln* dan memasang pipa uap untuk mengalirkan uap menuju kondensor. Tahap kedua setelah peralatan terpasang adalah melakukan pembakaran, dimana penyalaan awal dilakukan dari bagian bawah *kiln* dengan membakar jerami atau bahan lain yang mudah terbakar, sehingga bahan bakar yang terdapat di dalam *kiln* juga ikut terbakar dengan cepat. Pada saat pembakaran, dilakukan

pengamatan terhadap suhu dan tekanan di dalam *retort* dengan menjaga suhu serta menambahkan bahan bakar apabila suhu turun dan memperkecil lubang udara *kiln* jika suhu naik lebih dari suhu yang ditentukan. Pada saat pirolisis, terjadi penguapan *volatile matter* dan penguraian bahan organik menghasilkan uap dan arang. Uap yang terbentuk dialirkan menuju kondensor untuk didinginkan agar terbentuk *bio-oil*, sedangkan sisa gas yang *non condensable* dikeluarkan ke udara. Sedangkan arang akan tertinggal di dalam *retort* dan akan dikeluarkan setelah selesai percobaan. *Bio-oil* yang terbentuk kemudian ditampung dalam penampung lalu diukur volume dan nilai kalornya menggunakan alat *Oxygen Bomb Calorimeter* (Cahyono, 2013).



**Gambar 2.** Rangkaian Alat Pirolisis.

Proses pirolisis menghasilkan tiga jenis produk yaitu berupa padatan (*charcoal/arang*), gas (*fuel gas*) dan cairan (*bio-oil*). Dan umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300 °C dalam waktu 4-7 jam. Namun keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya. Beberapa

faktor yang mempengaruhi proses pirolisis yaitu kadar air, ukuran partikel, temperatur, waktu, bahan, dan tipe pirolisis (Wijayanti, 2013). Cairan yang dihasilkan dari proses pirolisis merupakan campuran kompleks senyawa organik antara lain stirena, etil-benzena, toluena, dan lain-lain. Proses pirolisis menghasilkan padatan yang mengandung *char*/residu dan bahan anorganik yang terkandung dalam bahan baku. Selain itu, pirolisis menghasilkan gas yang terdiri dari hidrokarbon, CO dan CO<sub>2</sub> yang memiliki nilai kalor yang tinggi (Lopez dkk., 2010).

Metode pirolisis telah banyak digunakan untuk mengolah limbah seperti limbah rumah tangga (Ojolo dkk., 2005), plastik (Qonita, 2015), sekam padi (Simanjuntak dkk., 2012), dan kulit durian (Ridhuan, 2016). Menurut Ojolo dkk., (2005), pengolahan sampah dengan pirolisis rata-rata menghasilkan 52,2% *wax*, 25,2% *char*/residu, 22,6% gas. Penelitian tersebut menyebutkan bahwa metode pirolisis dapat merubah sampah menjadi bahan bakar.

Penelitian yang dilakukan oleh Qonita (2015) menggunakan jenis sampah seperti sampah plastik HDPE (High Density Polyethylene), PET (*Poly Ethylene Terephthalate*), dan PS (*Poly Styrene*). Komposisi sampah yang digunakan antara lain: 100:0, 75:25, dan 50:50. Penelitian jenis sampah plastik ini menghasilkan gas tertinggi yaitu jenis plastik PET sebesar 45,40 % dan jenis plastik yang menghasilkan *wax* tertinggi yaitu jenis plastik HDPE sebesar 69,91 %. Sedangkan komposisi yang menghasilkan gas tertinggi yaitu komposisi dengan ranting 25 % dan PET 75 % sebesar 71,24 % dan komposisi yang menghasilkan *wax* tertinggi yaitu komposisi dengan ranting 25 % dan PS 75 % sebesar 61,36 %.

Penelitian yang dilakukan Ridhuan (2016) menggunakan kulit durian diperoleh hasil yaitu temperatur tertinggi pada pitot sebesar 398 °C pada menit ke 90 lamanya bahan bakar habis 90 menit dari 3 kg bahan baku menghasilkan arang 1 kg (33,33 %) dan dari 12 kg bahan bakar menyisakan arang 4 kg (33,33 %) dihasilkan nilai kalor sebesar 5609,453 kal/g.

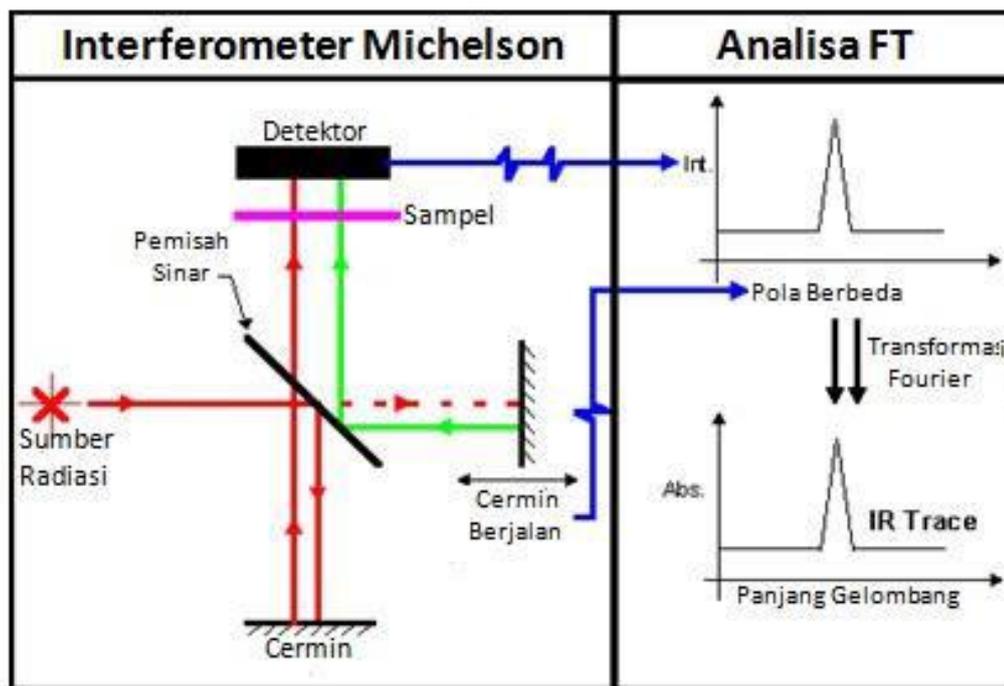
Pembentukan karbosil dengan bahan dasar sekam padi menggunakan metode pirolisis dipengaruhi oleh suhu yang digunakan. Hasil XRD dan struktur mikro masing-masing menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu maka pembentukan karbosil menurun dan semakin kecil ukuran butirnya (Simanjuntak dkk., 2012). Dalam proses pirolisis, komposisi produk akhir sangat bergantung pada komposisi bahan dan kondisi proses pirolisis (Cahyono, 2013).

#### **D. FTIR**

Dalam kimia analitik, FTIR menjadi salah satu yang paling fleksibel dan efisien dalam memberikan informasi tentang gugus fungsi kimia sampel. FTIR memiliki prinsip kerja dengan mengukur energi inframerah yang diserap oleh ikatan kimia pada frekuensi atau panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang *Spectroscopy* FTIR menggunakan sistem yang disebut dengan interferometer untuk mengumpulkan spektrum. Interferometer terdiri dari sumber radiasi, pemisah berkas, cermin, dan detektor.

## 1. Prinsip kerja FTIR

Panjang gelombang *Spectroscopy* FTIR menggunakan sistem yang disebut dengan interferometer untuk mengumpulkan spektrum. Interferometer terdiri dari sumber radiasi, pemisah sinar, cermin, dan detektor yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Prinsip Kerja FTIR.

Spektrometer FTIR dilengkapi sistem optik berdasarkan interferometer Michelson. Prinsip kerja FTIR yaitu energi inframerah diemisikan dari sumber bergerak melalui celah untuk mengontrol jumlah energi yang akan diberikan ke sampel. Berkas sampel kemudian memasuki ruang sampel dan diteruskan atau dipantulkan oleh permukaan sampel tergantung dari energinya yang merupakan karakteristik dari sampel. Kemudian berkas sampai ke detektor dan signal yang dihasilkan dari detektor direkam sebagai spektrum inframerah yang berbentuk puncak-puncak absorpsi. Spektrum inframerah ini menunjukkan hubungan antara

absorpsi dan frekuensi atau bilangan gelombang atau panjang gelombang. Sebagai absis adalah frekuensi (Hertz), panjang gelombang ( $\mu\text{m}$ ) atau bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) dan sebagai ordinat adalah transmitans (%) atau absorbans (Giwangkara, 2006).

Pada FTIR, spektroskopi inframerah didasarkan pada fenomena terabsorpsinya radiasi elektromagnetik inframerah oleh vibrasi molekul. Radiasi elektromagnetik adalah suatu bentuk dari energi yang diteruskan melalui ruang dengan kecepatan yang tinggi. Radiasi Elektromagnetik mempunyai panjang gelombang, frekuensi, kecepatan, dan amplitudo. Besarnya energi yang diserap (energi foton) oleh ikatan pada gugus fungsi dapat dilihat pada **Persamaan 2.1**.

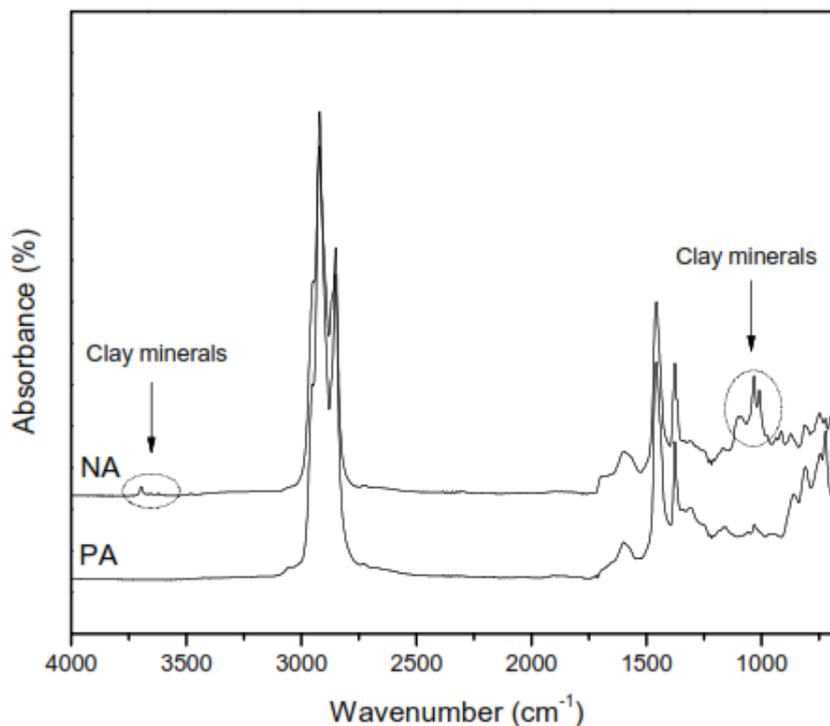
$$E = h\nu \quad (2.1)$$

dengan  $h$  menyatakan tetapan Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  Js) dan  $\nu$  menyatakan cepat rambat gelombang  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ . Sehingga energi foton dapat dinyatakan dalam bentuk bilangan gelombang melalui **Persamaan 2.2** (Setiabudi, 2015).

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (2.2)$$

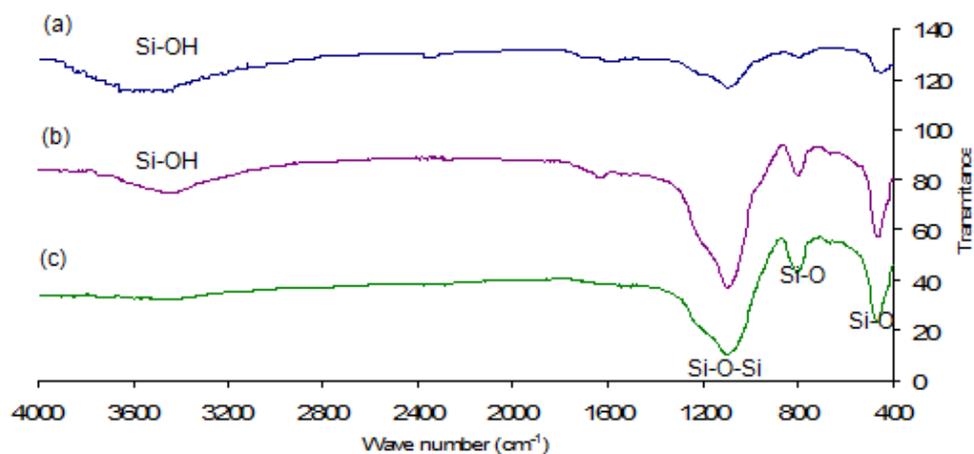
## 2. Aplikasi FTIR

FTIR telah banyak digunakan oleh para peneliti seperti yang dilakukan Nciri dkk. (2006) melakukan karakterisasi FTIR untuk mengetahui gugus fungsi aspal buatan (PA) dan aspal alam (NA) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Spektra FTIR Aspal Alam (NA) dan Aspal Buatan (PA) (Nciri dkk., 2006).

Simanjuntak dkk. (2012) menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi pembentuk karbosil sekam padi dengan suhu pirolisis yang berbeda yaitu 200 °C, 400 °C, dan 700 °C yang diperhatikan pada **Gambar 5** dan hasil gugus fungsi secara keseluruhan diperlihatkan pada **Tabel 4**.



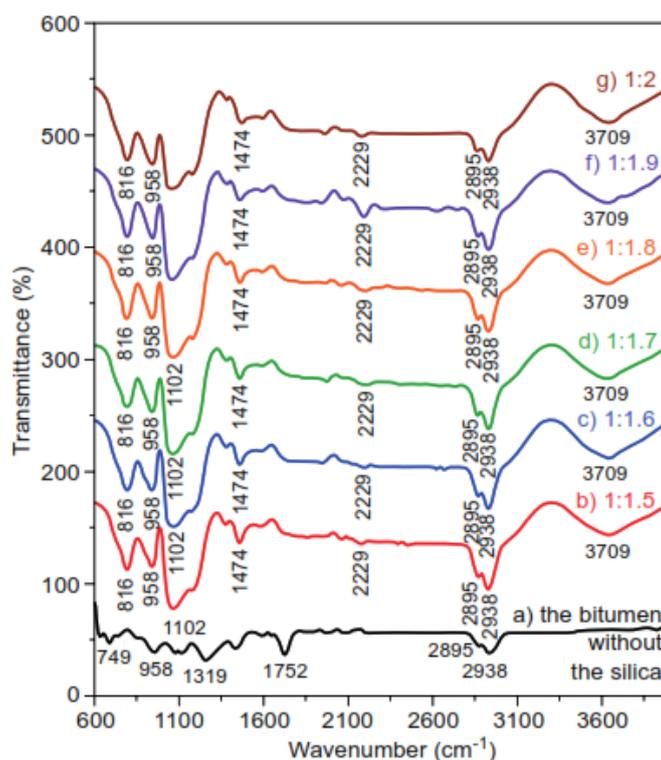
**Gambar 5.** Spektrum FTIR sampel karbosil disiapkan di suhu pirolisis yang berbeda a.200 °C, b. 400 °C, dan c. 700 °C (Simanjuntak dkk., 2012).

**Tabel 4.** Puncak spektra gugus fungsi karbosis berbasis sekam padi dengan variasi suhu pirolisis.

Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )			Gugus Fungsi	Referensi
200 °C	400 °C	700 °C		
3674,64	3446,63	3735,44	Si-OH	Genieva dkk, 2008
2361,12	2361,10	2361,63	C=O	Genieva dkk, 2008
1697,71	-	-	C=C	Skubiszewska dkk, 2002
1601,01	1628,29	1621,44	H-O-H	Kalapathy dkk, 2000
1096,91	1099,21	1102,37	Si-O-Si	Prasetyoko dkk 2005
797,72	803,84	803,61	Si-O-Si	Sembiring, 2007
451,78	465,94	468,37	Si-O-Si	Kim, 2004

Semua spektrum menunjukkan bahwa peningkatan jumlah silika dipengaruhi oleh peningkatan suhu pirolisis, kemungkinan lebih sedikit karbon pada permukaan karbosil. Pita absorpsi lain yang diamati pada spektrum terletak di sekitar 3400-3500  $\text{cm}^{-1}$  karena adanya getaran gugus -OH, yang menunjukkan perlekatan -OH ke silika untuk membentuk gugus silanol (Si-OH). Spektrum tersebut ditandai dengan tidak adanya pita serapan yang terkait dengan senyawa karbon, yang menunjukkan bahwa komponen organik sekam telah terkarbonisasi sempurna untuk menghasilkan unsur karbon, yang kemudian digabungkan dengan silika untuk menghasilkan karbosil.

Sembiring dkk. (2019) menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi penambahan silika pada aspal dengan berbagai perbandingan Hasil gugus fungsi secara keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Spektrum FTIR sampel dengan penambahan silika sekam padi (Sembiring dkk.,2019).

Penambahan silika pada aspal memperlihatkan adanya pengaruh yang signifikan yaitu munculnya puncak terkait dengan fungsi hidroksil pada sekitar  $3709\text{ cm}^{-1}$ , yang menunjukkan adanya reaksi antara silika dan aspal selama proses penambahan silika. Ikatan absorpsi O–H berasal dari silanol dalam  $\text{Si}(\text{OH})_4$  yang dihasilkan oleh getaran H–OH. Kemunculan  $\text{Si}(\text{OH})_4$  ditunjukkan pada bilangan gelombang serapan  $1102\text{ cm}^{-1}$ , ikatan Si–O–Si yang terbentuk oleh deformasi getaran Si–O. Adanya getaran SiO diamati pada hasil, menunjukkan kuatnya interaksi non-ikatan SiO tetrahedra dengan aspal. Dengan kata lain, getaran SiO juga menunjukkan distorsi pada tetrahedra SiO dan interaksi yang lebih kuat antara aspal dan silika. Ikatan kuat lain yang diamati terletak pada  $1474$  dan  $2938\text{ cm}^{-1}$  dan kemungkinan menunjukkan fungsionalitas karakteristik O–H dari asam karboksilat dan alifatik, dan C–H dari alkana. Ikatan C–H digantikan oleh

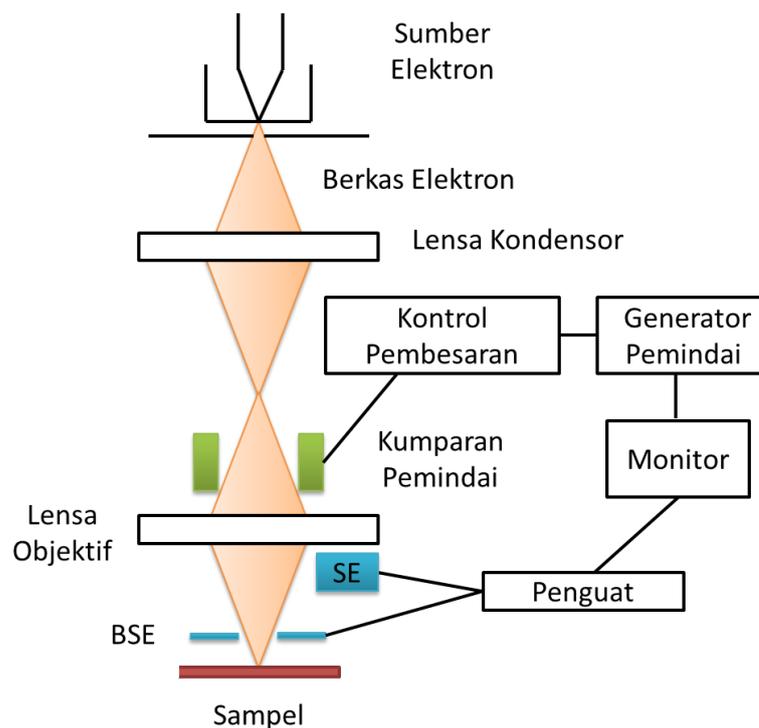
butadiene (ikatan etilen) yang terletak di puncak  $958\text{ cm}^{-1}$ . Berdasarkan hasil analisis ikatan kimia tersebut, penambahan silika menunjukkan perubahan puncak ikatan kimia pada aspal.

## **E. SEM**

SEM merupakan mikroskop elektron pemindaian menggunakan sinar terfokus dari elektron berenergi tinggi untuk menghasilkan berbagai sinyal pada permukaan spesimen padat. Sinyal yang berasal dari interaksi elektron mengungkapkan informasi tentang sampel termasuk morfologi eksternal (tekstur), bahan kimia komposisi, dan orientasi bahan penyusun sampel (Nciri dkk., 2016).

### **1. Prinsip Kerja SEM**

SEM terdiri dari komponen seperti sumber elektron yang berupa filamen dari bahan kawat tungsten. Filamen tersebut dapat menyediakan berkas elektron yang secara teoretis memiliki energi tunggal (monokromatik). Komponen kedua yakni dua lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil dan dua pasang kumparan pemindai berfungsi mengarahkan elektron ketika memindai permukaan sampel. Komponen ketiga yaitu *image detector* yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM yaitu detektor Secondary Electron (SE) dan Backscattered Electrons (BSE) (Sujatno dkk., 2015). Skema prinsip kerja SEM ditunjukkan pada **Gambar 7**.

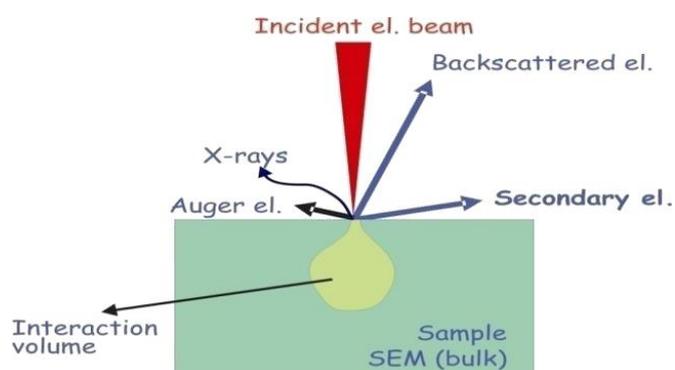


**Gambar 7.** Skema SEM.

**Gambar 7** memperlihatkan skema alat SEM, mula-mula elektron keluar dari sumber elektron dengan energi yang sangat besar kemudian melewati anode. Anode berfungsi menyearahkan elektron menuju titik fokus, membatasi, dan mengeliminasi pancaran elektron yang memiliki sudut hambur terlalu besar. Setelah melewati anode berkas elektron diteruskan menuju lensa kondensor, agar elektron terfokuskan dan menuju kumparan pemindai hingga sampai ke sampel. Gambar terbentuk berdasarkan deteksi elektron sekunder yang muncul akibat interaksi elektron primer dengan elektron-elektron sampel. Elektron sekunder yang terdeteksi akan diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor *Cathode Ray Tube* (CRT). Di layar CRT inilah gambar struktur mikro sampel bisa terlihat (Sujatno dkk., 2015).

## 2. Interaksi Material dengan Elektron Cahaya

Ketika berkas elektron *discan* pada permukaan sampel, terjadi interaksi elektron dengan atom-atom di permukaan maupun di bawah permukaan sampel. Seperti terlihat pada **Gambar 8**, akibat interaksi tersebut sebagian besar berkas elektron berhasil keluar kembali, elektron-elektron tersebut disebut sebagai *Backscattered Electrons* (BSE), sebagian kecil elektron masuk ke dalam bahan kemudian memindahkan sebagian besar energi pada elektron atom sehingga terpental ke luar permukaan bahan, yaitu *Secondary Electrons* (SE). Pembentukan elektron-elektron sekunder selalu diikuti proses munculnya X-ray yang karakteristik untuk setiap elemen, sehingga dapat digunakan untuk mengukur kandungan elemen yang ada di dalam bahan yang diteliti.



**Gambar 8.** Skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam SEM (Sujatno dkk., 2015).

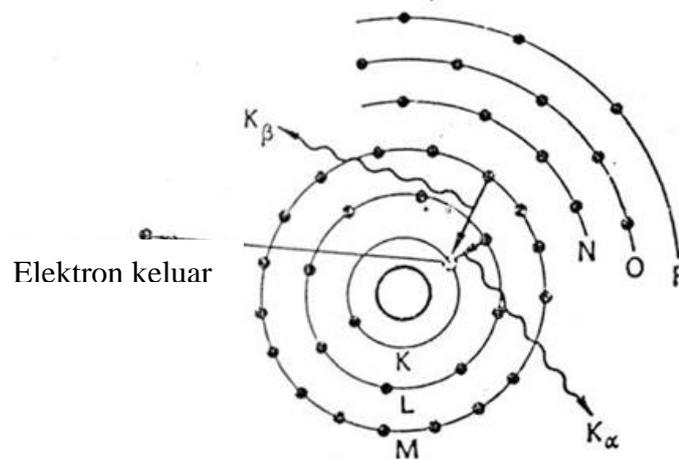
Pada tampilan mikrograp SEM, bayangan BSE memberikan perbedaan warna daerah berdasar nomor atom, karena setiap daerah menunjukkan perbedaan tingkat kontras, daerah yang lebih terang menunjukkan bernomor atom tinggi dan daerah yang lebih gelap menunjukkan bernomor atom rendah. Elektron sekunder merupakan elektron yang dipancarkan dari sampel akibat interaksi antara berkas elektron primer dengan elektron sampel. Karena elektron sekunder ini memiliki

energi rendah, maka elektron tersebut dapat dibelokkan membentuk sudut dan menimbulkan bayangan topografi (struktur permukaan) (Sujatno dkk., 2015).

Selain untuk mengamati dan menganalisis struktur mikro dan morfologi, SEM dilengkapi dengan EDS yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia suatu permukaan secara kualitatif dan kuantitatif yaitu komposisi serta kadar unsur yang terkandung dalam sampel yang diamati (Sartono, 2007). Pada EDS terdapat spektrum khas digambarkan sebagai plot jumlah *x-ray* terhadap energi (dalam keV) yang menunjukkan puncak energi sesuai dengan berbagai elemen dalam sampel, sebagai contoh ditunjukkan pada **Gambar 8**. Munculnya spektrum ini dapat dijelaskan dengan baik menggunakan teori atom yang dikemukakan oleh Bohr, yaitu sebuah elektron menempati orbit yang jelas dan pasti dalam gerakannya mengelilingi inti atom (Akhadi, 2006).

Elektron bagian dalam orbit atom akan menyerap energi dari luar apabila dipanaskan, serta akan kehilangan energi dan kembali ke orbit semula apabila didinginkan. Jika terjadi kekosongan pada kulit K maka segera diisi oleh elektron dari kulit di luarnya. Misalnya, jika kekosongan terjadi pada kulit K maka akan diisi oleh elektron dari kulit L, sehingga sinar-X yang dipancarkan adalah  $K_{\alpha}$ . Transisi yang paling mungkin terjadi ketika kekosongan kulit-K dibuat adalah transisi L ke K, karena ini adalah kulit energi yang berdekatan. Karena itu radiasi  $K_{\alpha}$  akan selalu lebih kuat daripada radiasi  $K_{\beta}$ . Juga mengikuti bahwa radiasi  $K_{\beta}$  akan memiliki energi yang lebih tinggi daripada radiasi  $K_{\alpha}$ . Oleh sebab itu, apabila spektrum sinar-X dari suatu atom berelektron banyak diamati, maka akan terlihat pula garis-garis tajam berintensitas tinggi yang dihasilkan oleh transisi

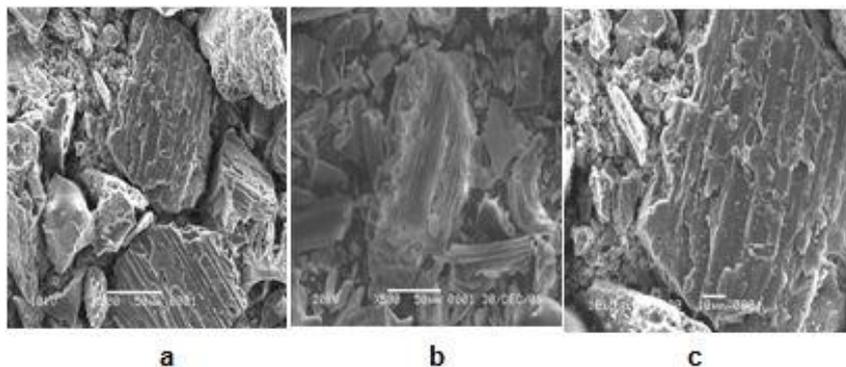
$K_{\alpha}$ ,  $K_{\beta}$ , dan seterusnya. Jadi sinar-X karakteristik timbul karena adanya transisi elektron dari tingkat energi lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah seperti ditunjukkan pada **Gambar 9**.



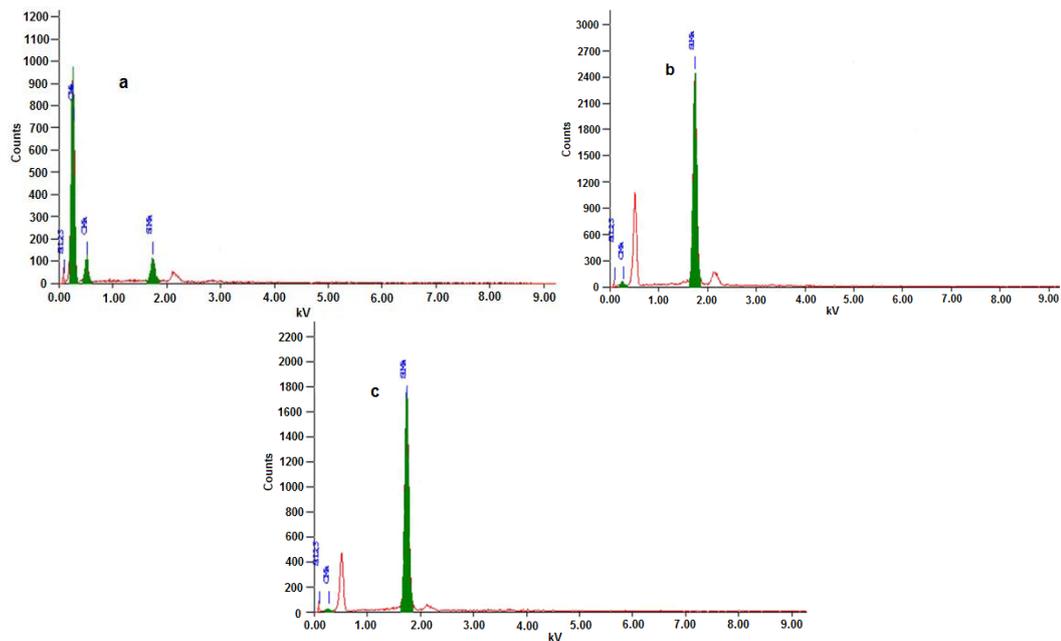
**Gambar 9.** Proses Terbentuknya Sinar-X (Akhadi, 2006).

### 3. Aplikasi SEM

Simanjuntak dkk. (2012) menggunakan analisis SEM-EDS untuk mengetahui mikrostruktur dan komposisi karbosil menggunakan metode pirolisis dengan variasi suhu yang diperlihatkan pada **Gambar 10** dan analisis EDS pada **Gambar 11**.



**Gambar 10.** *Scanning electron microscopy* (SEM) sampel karbosil pada suhu pirolisis yang berbeda a. 200 °C, b. 400 °C, dan c. 700 °C (Simanjuntak dkk., 2012).

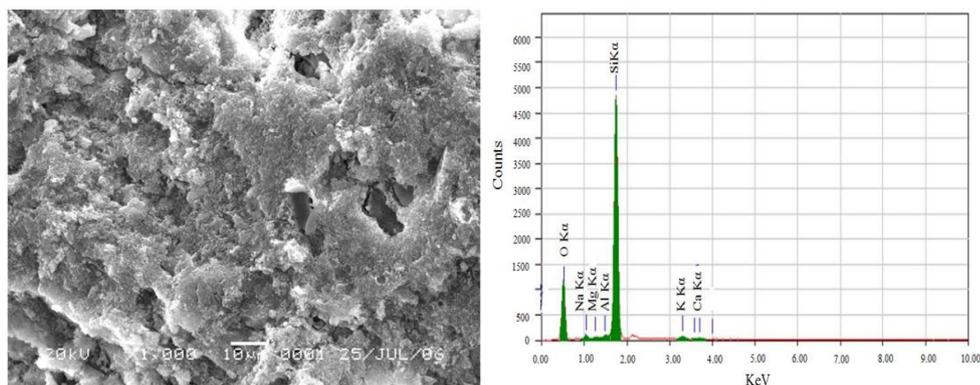


**Gambar 11.** EDS sampel karbosil pada suhu pirolisis yang berbeda a. 200 °C, b. 400 °C, dan c. 700 °C (Simanjuntak dkk., 2012).

Permukaan morfologi sampel ditandai oleh distribusi butiran dan ukuran yang berbeda. Sampel pada suhu 200 °C (Gambar 10a), ditandai oleh butiran yang lebih besar dengan batas butir lebih jelas dibandingkan dengan yang diamati untuk dua sampel lainnya (Gambar 10b dan 10c). Selain itu, terlihat jelas bahwa *cluster* dalam sampel pada suhu di 200 °C dikelilingi oleh butiran halus. *Cluster* besar yang paling mungkin terdiri dari karbon, sedangkan butiran halus adalah silika. Permukaan sampel pada suhu yang lebih tinggi (400 °C dan 700 °C) kemungkinan besar didominasi oleh butiran halus yang tersusun dari silika, dan menutupi beberapa gugus karbon.

Spektrum EDS pada **Gambar 11** menunjukkan keberadaan karbon, silikon, dan oksigen. Jumlah karbon relatif menurun karena suhu meningkat. Berkurangnya jumlah karbon mengindikasikan bahwa suhu yang lebih tinggi menyebabkan dominasi silika di sampel. Komposisi kimia sampel sangat dipengaruhi oleh suhu pirolisis yang diterapkan.

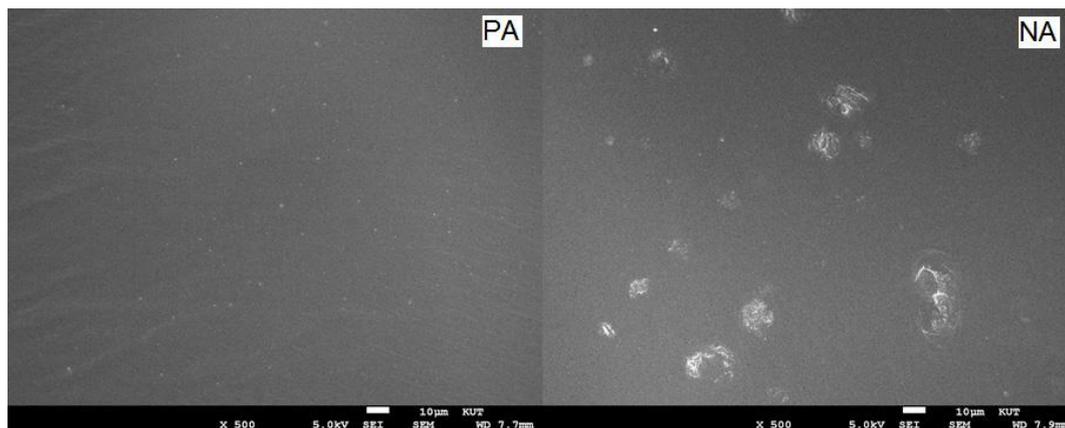
Penelitian menggunakan analisis SEM-EDS juga dilakukan oleh Suka dkk. (2008) untuk mengetahui mikrostruktur dari permukaan silika sekam padi, hasil analisis mikrostruktur dan komposisi unsur silika sekam padi menggunakan metode ekstraksi alkalis diperlihatkan pada **Gambar 12**.



**Gambar 12.** Hasil analisis SEM-EDS silika sekam padi (Suka dkk., 2008).

Hasil analisis memperlihatkan struktur permukaan seperti gumpalan (*cluster*), yang mengindikasikan adanya ukuran butir yang cukup beragam dengan distribusi yang tidak merata pada permukaan. Selain itu, antara *cluster* terpisah dengan adanya patahan mikro (*micro-cracking*) yang terlihat cukup jelas pada permukaan silika. Hasil analisis EDS pada **Gambar 12** memberikan informasi unsur yang terkandung dalam silika sekam padi yaitu mengandung berbagai unsur meliputi oksigen (O), natrium (Na), magnesium (Mg), aluminium (Al), silikon (Si), kalium (K), dan kalsium (Ca). Unsur Si dan O mendominasi dengan persentase massa sebesar 44,25% dan 52,13%.

Nciri dkk. (2016) menggunakan analisis SEM untuk melihat mikrostruktur aspal alam (PA) dan aspal buatan (NA) yang ditunjukkan pada **Gambar 13**.



**Gambar 13.** Mikrostruktur aspal buatan (PA) dan aspal alam (NA) (Nciri dkk., 2016).

Hasil analisis menunjukkan bahwa terjadi beberapa perbedaan kecil antara PA dan NA. Pada permukaan NA terlihat bahwa adanya kontaminasi dengan tanah liat yang memiliki ukuran dan tidak terdistribusi secara merata pada permukaan. Sedangkan pada sampel PA terlihat homogen dan seragam, yang menunjukkan sampel PA tidak memiliki kontaminasi dengan tanah liat.

## F. Densitas

Massa per satuan volume dari sebuah material disebut densitas, istilah ini sering digunakan secara sinonim dengan massa jenis (Charles, 2001). Setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda, sedangkan suatu zat berapapun volumenya dan berapapun massanya akan memiliki massa jenis yang sama. Densitas untuk benda padatan yang besar dengan bentuk yang beraturan, pengukuran massa dan volumenya dilakukan dengan cara mengukur dimensinya. Untuk benda yang tidak beraturan maka densitasnya ditentukan dengan metode Archimedes yaitu dengan menggunakan **Persamaan (2.3)**.

$$\rho = \frac{m_k}{m_j - m_g} \rho_{air} \quad (2.3)$$

dengan  $\rho_{air}$  adalah densitas air ( $\text{g/cm}^3$ ),  $m_k$  adalah massa sampel kering dan  $m_j$  adalah massa sampel jenuh,  $m_g$  dan adalah massa sampel gantung dalam air (g) (Askeland, 2010).

### G. Daya Serap

Daya serap merupakan salah satu parameter yang penting untuk memprediksi dan mengetahui kekuatan dan kualitas material yang dihasilkan. Material yang berkualitas baik memiliki daya serap air yang kecil dimana jumlah pori pori pada permukaan sedikit dan rapat. Semakin besar kerapatan dari permukaannya maka, semakin kecil daya serapnya terhadap air (Sukandarrumidi, 2018). Pengujian daya serap air ini mengacu pada ASTM C-20-00-2005 tentang prosedur pengujian, bertujuan untuk menentukan besarnya persentase air yang diserap oleh sampel yang direndam dengan akuades selama 3 jam pada suhu ruang. Perhitungan daya serap air dilakukan menggunakan **Persamaan (2.4)**.

$$\text{Daya Serap (\%)} = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100\% \quad (2.4)$$

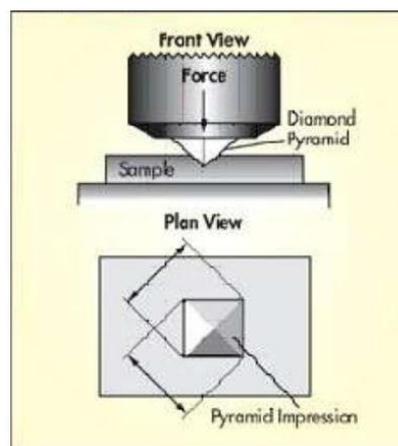
dengan  $m_b$  = massa sampel sebelum direndam (gram) dan  $m_k$  = massa sampel setelah direndam (gram).

### H. Kekerasan Vicker

Kekerasan merupakan kemampuan material menahan beban tekan yang diberikan untuk mengalami perubahan bentuk. Perubahan bentuk dibagi dua, yaitu perubahan bentuk plastis dan permanen. Perubahan bentuk plastis terjadi pada material yang memiliki permukaan lunak, sedangkan perubahan bentuk permanen

terjadi pada material yang memiliki permukaan keras. Salah satu metode pengujian kekerasan yaitu metode Vickers.

Pengujian dengan metode Vickers dilakukan dengan penekanan piramida intan lurus dengan alas bujur sangkar dan sudut puncak  $136^\circ$  ke permukaan material uji selama waktu tertentu. Pengujian ini penting dilakukan karena untuk menentukan kekerasan suatu material dalam yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri berbentuk piramida. Adapun prinsip kerja metode pengujian kekerasan vicker ditunjukkan seperti pada Gambar 14 (Rimpung, 2017).



**Gambar 14.** Prinsip kerja metode pengukuran kekerasan vickers (Kumayasari dan Sultoni, 2017).

### 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. Karakterisasi SEM-EDS dilakukan di Laboratorium UGM. Karakterisasi FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Negeri Padang, uji fisis (densitas dan daya serap) dilakukan di Laboratorium Fisika Polimer Universitas Lampung, dan uji kekerasan dilakukan di Laboratorium LIPI Serpong.

#### 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, dan botol sampel. Sementara itu, alat-alat yang digunakan untuk karakterisasi sampel adalah *hydraulic press* (Graseby Specac), SEM/EDS (Jeol tipe Jed-2300), dan FTIR.

## **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 mengacu pada penelitian yang telah dilakukan Pahlepi dkk. (2013). Preparasi sekam padi diawali dengan mencuci sekam padi hingga bersih menggunakan air dan direndam selama 1 jam. Setelah direndam, sekam padi yang mengapung di permukaan air dibuang dan sekam padi yang tenggelam diambil. Sekam padi yang tenggelam kemudian direndam menggunakan air panas selama 6 jam. Sekam padi yang tenggelam diambil, kemudian ditiriskan dan dijemur selama 2 hari supaya kering secara merata. Sekam padi kemudian dikeringkan pada suhu 100 °C selama 30 menit supaya sekam padi benar-benar kering.

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

Preparasi karbosil pada penelitian ini mengacu pada penelitian Simanjuntak dkk. (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 diawali dengan melarutkan aspal dengan bensin sambil diaduk dan dipanaskan. Aspal yang sudah cair ditambahkan serbuk karbosil dengan variasi perbandingan massa karbosil dan aspal yaitu 0:100; 10:90; 15:85; 20:80; 25:75; dan 30:75. Campuran dipanaskan sambil diaduk menggunakan *hot plate* hingga homogen. Setelah itu dilakukan pengeringan sampel campuran aspal silika dengan menggunakan oven selama 4 jam pada suhu 100 °C. Sampel digerus dengan *mortar* dan *pestle*. Sampel yang sudah digerus kemudian diayak No.200 mesh untuk mendapatkan serbuk paduan aspal karbosil. Dilakukan pembuatan pelet pada sampel dengan cara *dipress* menggunakan *pressing hidrolis* dengan tekanan 10 Ton untuk karakterisasi SEM-EDS dan uji fisis (densitas, daya serap, dan kekerasan).

### 4. Pembuatan Pelet Paduan Aspal Karbosil

Pembuatan pelet menggunakan alat *hydrolic press*. Langkah pertama yang dilakukan yaitu 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 kering. Kemudian sampel ditekan dengan beban 10 ton. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses *pressing* yaitu:

- a. Disiapkan sampel dan alat *pressing*.
- b. Sampel dimasukkan ke dalam cetakan *press* yang berbentuk silinder.
- c. Cetakan *press* dipasang ke dalam alat *pressing* kemudian dikunci dengan memutar sekrup.

- d. Tuas pompaan ditekan untuk mendapatkan berat beban sebesar 10 ton.
- e. Sekrup diputar untuk melepaskan cetakan *press*.
- f. Tuas ditekan untuk mengeluarkan hasil pelet.

#### **D. Karakterisasi Sampel**

Karakterisasi sampel yaitu *Scanning Electron Microscopy* (SEM-EDS) dan FTIR, serta uji fisis (densitas dan daya serap), dan uji kekerasan.

##### **1. Karakterisasi SEM-EDS**

Karakterisasi SEM-EDS dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur bahan. Langkah-langkah dalam proses SEM-EDS adalah:

- a. Sampel yang akan dianalisa dimasukkan ke *vacuum column*, dimana udara akan dipompa keluar untuk menciptakan kondisi vakum. Kondisi vakum ini diperlukan agar tidak ada molekul gas yang dapat mengganggu jalannya elektron selama proses berlangsung.
- b. Elektron ditembakkan dan akan melewati berbagai lensa yang ada menuju ke satu titik di sampel.
- c. Sinar elektron tersebut akan dipantulkan ke detektor lalu ke amplifier untuk memperkuat signal sebelum masuk ke komputer untuk menampilkan gambar yang diinginkan.

##### **2. Karakterisasi FTIR**

Uji FTIR ini dilakukan untuk menganalisis gugus fungsi yang terdapat pada sampel. Adapun langkah-langkah dalam uji FTIR ini adalah sebagai berikut:

- a. Kristal KBr murni dihaluskan dalam *mortar* dan *pestle* kemudian KBr tersebut diayak.
- b. KBr halus yang sudah diayak ditimbang seberat  $\pm 0,1$  gram, kemudian sampel padat (bebas air) ditimbang dengan massa  $\pm 1$  % dari berat KBr.
- c. KBr dan sampel dicampur ke dalam *mortar* dan *pestle* diaduk sampai tercampur merata.
- d. Disiapkan cetakan *pellet*.
- e. Dicuci bagian sampel, *base* dan *tablet frame* dengan *kloroform*.
- f. Sampel KBr yang telah dicampur dimasukkan dengan set cetakan *pellet*.
- g. Dihubungkan dengan pompa vakum untuk meminimalkan kadar air.
- h. Diletakkan cetakan pada pompa hidrolik kemudian diberi tekanan  $\pm 8$  *gauge*.
- i. Dihidupkan pompa vakum selama 1 menit.
- j. Dimatikan pompa vakum dan diturunkan tekanan dalam cetakan dengan cara keran udara dibuka.
- k. Dilepaskan *pellet* KBr yang sudah terbentuk dan ditempatkan *pellet* KBr pada *tablet holder*.
- l. Dihidupkan alat dengan dialiri sumber arus listrik, alat interferometer dan komputer.
- m. Klik "*shortcut 8400*" pada layar komputer yang menandakan program interferometer.
- n. Sampel diletakkan dalam alat interferometer pada komputer klik FTIR 8400 dan diisi data file.

- o. Klik “*Sample Start*” untuk memulai, dan untuk memunculkan harga bilangan gelombang klik “*clac*” pada menu, kemudian klik “*Peak Table*” lalu klik “OK”.
- p. Komputer, alat interferometer, dan sumber arus listrik dimatikan.

### 3. Uji Densitas

Pengujian densitas pada penelitian ini dilakukan menggunakan prinsip Archimedes, adapun langkah- langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Sampel paduan aspal silika 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 densitas sampel dihitung dengan **Persamaan (2.3)** dan.

### 4. Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air menggunakan sampel berbentuk pelet dan mengacu pada ASTM C-20-00-2005. Prosedur pengujian daya serap air sebagai berikut:

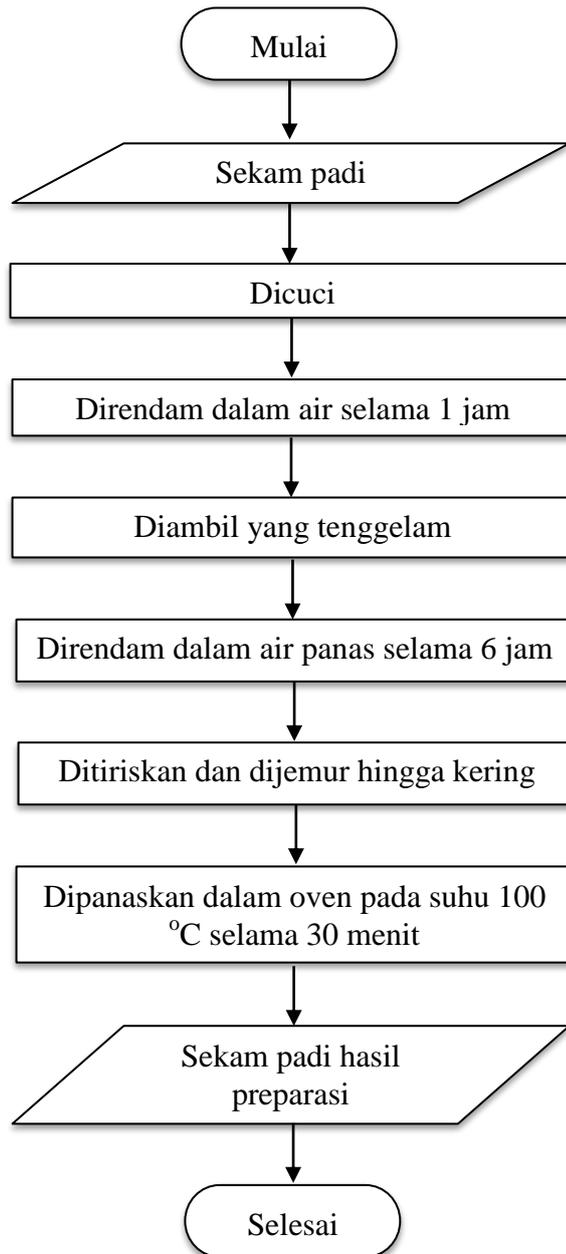
- a. Sampel yang telah dipelet disiapkan terlebih dahulu dan ditimbang massanya ( $m_k$ );
- b. Sampel direndam dalam akuades 20 ml selama 3 jam dan ditimbang setelah proses perendaman ( $m_b$ );
- c. Daya serap air sampel dihitung dengan **Persamaan (2.4)**.

## 5. Uji Kekerasan

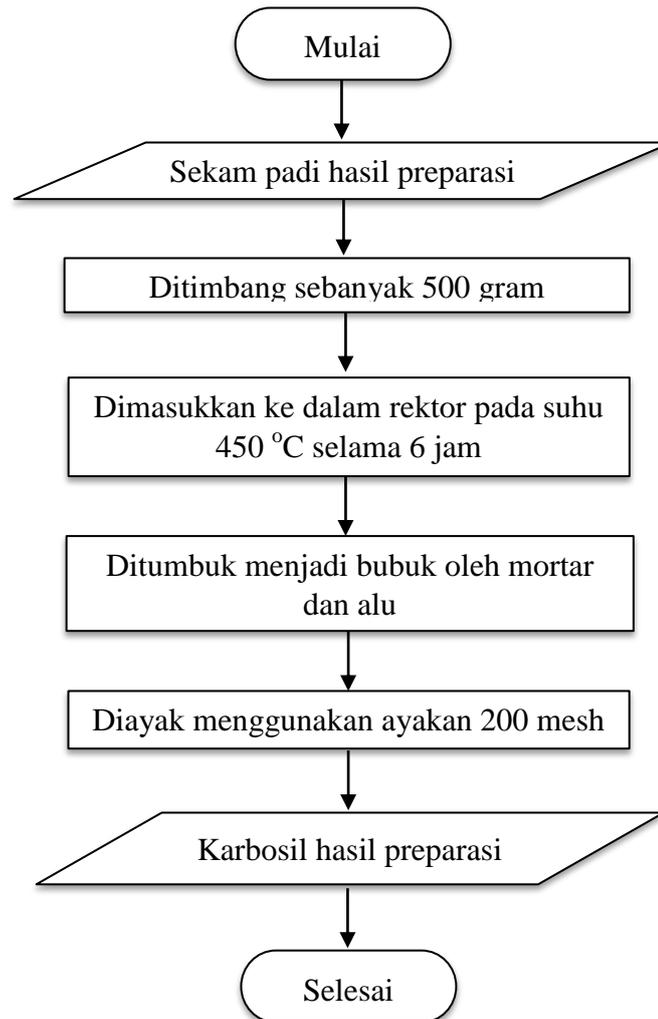
Uji kekerasan dilakukan menggunakan Mitutuyo Hardness Testing Machine HM-200. Alat ini merupakan jenis uji mikro digital sehingga hasil pengukuran akan langsung terbaca pada layar. Pengujian dilakukan dengan variasi beban dengan waktu indentasi 10 detik. Pengujian kekerasan ini dilakukan sebanyak 3 titik yang dipilih secara acak.

## 6. Diagram Alir

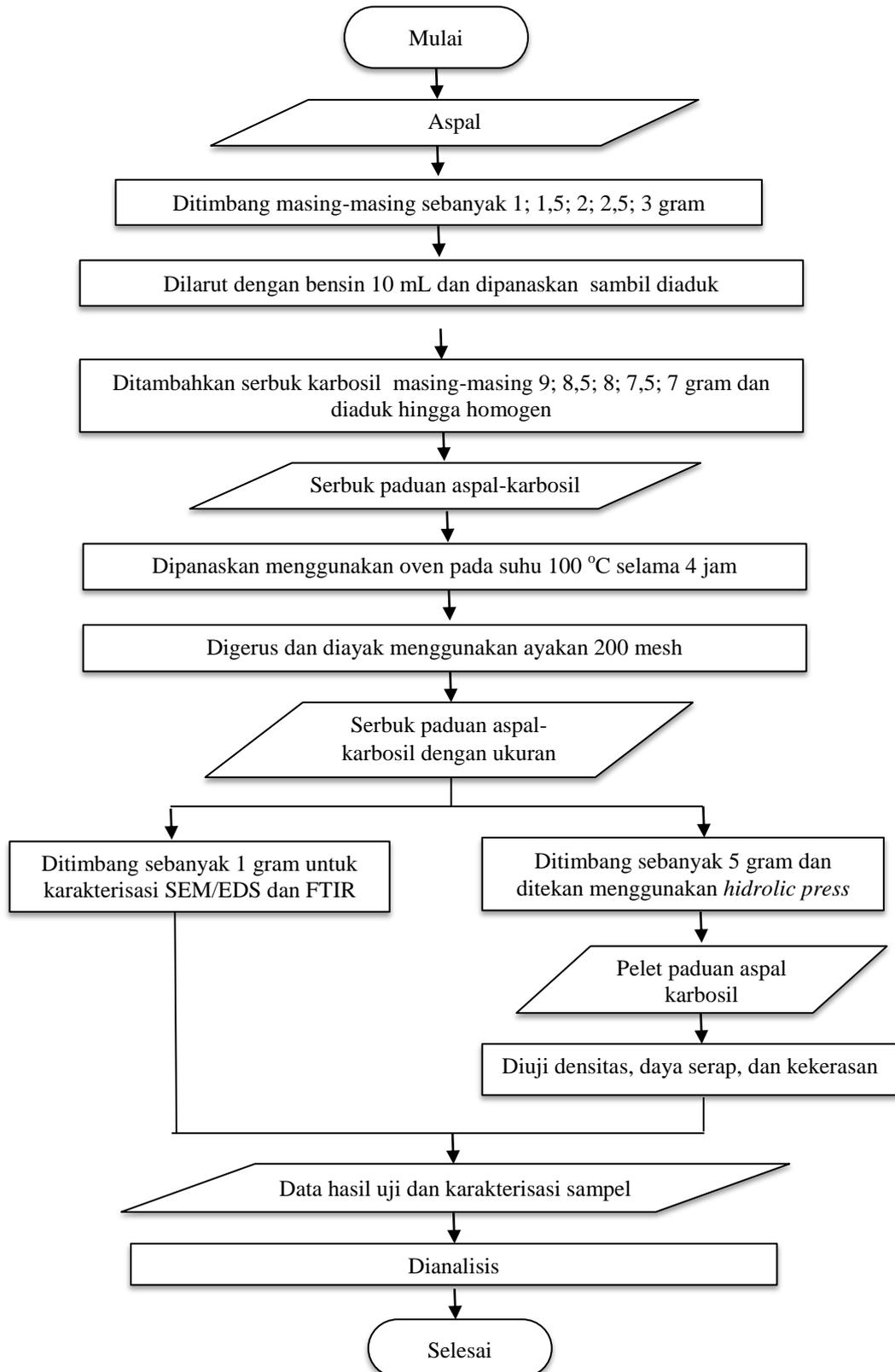
Secara garis besar, langkah kerja penelitian ini terbagi menjadi dua bagian yaitu preparasi silika dari sekam padi dan pembuatan sampel paduan aspal karbosil. Diagram alir preparasi silika sekam padi, preparasi karbosil, dan paduan aspal karbosil dapat dilihat pada **Gambar 15, 16, dan 17**.



**Gambar 15.** Preparasi Sekam Padi.



**Gambar 16.** Preparasi Karbosil.



**Gambar 17.** Paduan Aspal Karbosil.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

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

1. Hasil analisis FTIR pada setiap sampel aspal-karbosil dengan masing-masing perbandingan 0:100; 10:90; 15:85; 20:80; 25:75; dan 30:70 menunjukkan gugus fungsi yang terbentuk adalah O-H, Si-O-Si, Si-O, C-H, dan C=O. Selain itu, tidak adanya gugus fungsi baru yang muncul selain gugus fungsi aspal-karbosil menunjukkan bahwa tidak terjadi reaksi kimia antara karbosil dan aspal.
2. Hasil analisis SEM menunjukkan variasi komposisi aspal dan karbosil mempengaruhi mikrostruktur dan komposisi unsur sampel komposit aspal-karbosil. Setelah dikarakterisasi dengan SEM terlihat adanya retakan dan gumpalan yang bervariasi pada masing-masing sampel. Komposisi unsur yang terbentuk sampel aspal-karbosil adalah C, Si, O, dan N. Penambahan kandungan aspal menyebabkan persentase C meningkat.
3. Penambahan kandungan aspal pada sampel menyebabkan nilai densitas meningkat dan nilai daya serap menurun karena pori-pori karbosil tertutup oleh aspal sehingga penyerapan air semakin berkurang. Hasil uji kekerasan

4. menunjukkan paduan aspal karbosil memiliki ketahanan retakan yang cukup tinggi pada perbandingan aspal karbosil 30:70 yaitu 139,97.

## **B. Saran**

Penelitian selanjutnya disarankan untuk meneliti menggunakan suhu sintering yang berbeda agar diperoleh sifat fisis yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung, G. F., Hanafie, M. R., dan Mardina, P. 2013. Ekstraksi Silika Dari Abu Sekam Padi dengan Pelarut KOH. *Jurnal Konversi*. Vol. 2. No. 1. Pp. 28-31.
- Akhadi, M. 2006. Analisis Unsur Kelumit Melalui Pancaran Sinar-X Karakteristik. *Buletin Alara*. Vol. 8. No. 1. Pp. 11-19.
- Amin, N. U., Khattak, S., Noor, S., dan Ferroze, I. 2016. Synthesis and Characterization of Silica from Bottom Ash of Sugar Industry. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 117. Pp. 207-211.
- 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. *Journal of Procedia Environmental Sciences*. Vol. 24. Pp. 308-316.
- An, D., Guo, Y., Zou, B., Zhu, Y., dan Wang, Z. 2011. A Study on the Consecutive Preparation of Silica Powders and Active Carbon from Rice Husk Ash. *Journal of Biomass and Bioenergy*. Vol. 35. No. 3. Pp. 1227-1234.
- Arifin, M. Z., Djakfar, L., dan Martina, G. 2008. Pengaruh Kandungan Air Hujan Terhadap Nilai Karakteristik Marshall Dan Indeks Kekuatan Sisa (Iks) Campuran Lapisan Aspal Beton (Laston). *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 2. No. 1. Pp. 39-45.
- Askeland, R. D., Fulay, P.P., dan Bhattacharya, K. D. 2010. Essential of Materials Science and Enginnering Second Edition. *Stamford*. Vol. 12. No. 1. Pp. 21-29.
- Cahyono, M. S. 2013. Pengaruh Jenis Bahan pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. Vol.5. No. 2. Pp. 67-76.
- Chakradhar, R. S., Nagabhushana, B., Chandrappa, G., Ramesh, K., dan Rao, J. 2006. Solution Combustion Derived Nanocrystalline Macroporous

- Wollastonite Ceramics. *Journal of Materials Chemistry and Physics*. Vol. 95. Pp. 169–175.
- 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*. Vol. 21. Pp. 1245 – 1247.
- Chen, C. C., Lai, M. H., Wang, W.C., dan Ding, S. J. 2010. Properties of Anti Washout Type Calcium Silicate Bone Cements Containing Gelatin. *Journal of Material Science: Material in Medicine*. Vol. 21. Pp. 1057–1068.
- Cortizo, M. S., Larsen, D. O., Bianchetto, H., dan Alessandrini, J. L. 2004. Effect of the Thermal Degradation of SBS Copolymers During the Ageing of Modified Asphalts. *Polymer Degradation and Stability*. Vol. 86. No. 2. Pp. 275-282.
- Daifullah, A., Girgis, B., dan Gad, H. 2003. Utilization of Agro-Residues (Rice Husk) in Small Waste Water Treatment Plans. *Journal of Materials Letters*. Vol. 57. Pp. 1723– 1731.
- Enieb, M. dan Diab, A. 2017. Characteristics of Asphalt Binder And Mixture Containing Nanosilica. *International Journal of Pavement Research and Technology*. Vol. 10. No. 2. Pp. 148-157.
- Estevez, M., Vargas, S., Castano, V. M., dan Rodriguez, R. 2009. Silica Nanoparticles Produced by Worms Through a Bio Digestion Process of Rice Husk. *Journal of Noncrystalline Solids*. Vol 355. Pp.844–850.
- Fahmi, H., dan Nurfalah, A.L. 2016. Analisa Daya Serap Silika Gel Berbahan Dasar Abu Sekam Padi. *Jurnal Ipteks Terapan*. Vol. 10. No. 3. Pp. 176-182.
- 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. Pp. 374–382.
- Gupta, Raman, Vineet Kumar, dan Monika Gupta. 2008. Silica Supported Zinc Chloride Catalyzed Acetylation of Amines, Alcohols and Phenols. *Indian Journal of Chemistry*. Vol. 47 Pp. 1739–1743.
- Hui, Yao., Zhanping, You., Liang, Li., Chee, Huei, Lee., David, Wingard., Yoke, Khin, Yap., Xianming, Shi., dan Shu, wei, Goh. 2013. Rheological Properties and Chemical Bonding of Asphalt Modified Nanosilica. *Journal of Material in Civil Engineering*. Vol. 25. Pp. 1619-1630.

- Hadiwisastra, S. 2009. Kondisi Aspal Alam dalam Cekungan Buton. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan Jilid 19*. No. 1. Pp. 49-57.
- Hsieh, Y., Du, Y., Jin, F., Zhou, Z., dan Enomoto, H. 2009. Alkaline Pretreatment of Rice Hulls for Hydrothermal Production of Acetic Acid. *Journal of Chemical Engineering Research and Design*. Vol. 87. Pp. 13–18.
- Jagat, L., dan Malino, M.B. 2013. Pengujian Mutu Papan Partikel dari Serbuk Gergaji yang diisi Silika Gel Hasil Pemurnian Abu Sekam Padi. *Positron*. Vol.3. No. 1. Pp. 12-15.
- Jal, P., Sudarshan, M., Saha, A., Patel, S., dan Mishra, B. 2004. Synthesis and Characterization of Nanosilica Prepared by Precipitation Method. *Journal of Colloids Surfaces Physicochemical Engineering Aspect*. Vol. 204. No. 1-3. Pp. 173–178.
- Kalapathy, U., Proctor, A., Shultz, J. 2000. A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. Vol. 73. Pp 257-262.
- Kasim, F., Ridwan, M. K., dan Putra, M. Y. A. 2018. Pengolahan Sampah Plastik Memakai Teknologi Pirolisis Untuk Pembelajaran dan Konservasi Lingkungan di Pondok Pesantren Al-Anwar Sarang Rembang, Jawa Tengah. *Jurnal Bakti Saintek*. Vol. 2. No. 2. Pp. 57-63.
- Kow, K.W., Yusoff, R., Abdul Aziz, A., dan Abdullah, E. 2014. Characterisation of Biosilica Synthesised from Cogon Grass (*Imperata Cylindrica*). *Journal of Powder Technology*. Vol. 254. Pp. 206–213.
- Kumayasari, M. F., dan Sultoni, A. I. 2017. Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial VS Micro Vickers. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, Vol. 2. No. 2. Pp. 85-89.
- Lin, K., Chang, J., Chen, G., Ruan, M., dan Ning, C. 2007. A Simple Method to Synthesize Single Crystalline  $\beta$ -Wollastonite Nanowires. *Journal of Crystal Growth*. Vol. 300. Pp. 267–271.
- Liou, T. H. dan Yang, C. C. 2011. Synthesis and Surface Characteristic of Nanosilica Produced from Alkali Extracted Rice Husk Ash. *Journal of Materials Science Engineering*. Vol. 176. No. 7. Pp. 521-529.
- Le, V. H., Thuc, C. N., dan Thuc, H. H. 2013. Synthesis of Silica Nanoparticles from Vietnamese Rice Husk by Sol Gel Method. *Journal of Nanoscale Research Letters*. Vol. 58. Pp. 1-10.
- Loeber, L., Sutton, O., Morel, J., Valleton, J., and Muller, G. 1996. New Direct Observations of Asphalts and Asphalt Binders by Scanning Electron

- Microscopy and Atomic Force Microscopy. *Journal of Microscopy*. Vol. 182. Pp. 32-39.
- Lopez, A., Marco, I., Caballero, B.M., Laresgoiti, M.F., dan Adrados A. 2010. Pyrolysis Of Municipal Plastic Wastes: Influence of Raw Material Composition. *Waste Management*. Vol. 30. Pp. 620–627.
- Matchi, I., Barboni, D., Meunier, J. D., Saadou, M., Dussouillez, P., Contoux, C., dan Guede, N. Z. (2016). Intraspecific Biogenic Silica Variations in the Grass Species *Pennisetum Pedicellatum* Along an Evapotranspiration Gradient in South Niger. *Journal of Flora*. Vol 220. Pp. 84–93.
- Mehrali, M., Shirazi, S. F., Baradaran, S., Mehrali, M., Metselaar, H. S., Kadri, N. A., dan Osman, N. A. 2014. Facile Synthesis of Calcium Silicate Hydrate Using Sodium Dodecyl Sulfate as a Surfactant Assisted by Ultrasonic Irradiation. *Journal of Ultrasonics Sonochemistry*. Vol. 21. No. 2. Pp. 35–742.
- 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*. Vol. 6. No. 3-4. Pp. 394 - 397.
- Musić, S., Vinceković, N. F., dan Sekovanić, L. 2011. Precipitation of amorphous SiO<sub>2</sub> particles and their properties. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. Vo. 28. No.1. Pp. 89-94.
- Nciri, Nader., Hamho, Kim., dan Namjun, Cho. 2017. New Insights Into The Effects of Styrene-Butadiene-Styrene Polymer Modifier on The Structure, Properties, and Performance of Asphalt Binder: The Case Of AP-5 Asphalt and Solvent Deasphalting Pitch. *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 193. Pp. 477-495.
- Nciri, Nader., Jeonghyun, K., Nambo, K., dan Namjun, C. 2016. An In-Depth Investigation Into The Physicochemical, Thermal, Microstructural, and Rheological Properties of Petroleum and Natural Asphalts. *Journal of Material*. Vol. 9. Pp. 1-20.
- Ojolo, S. J. dan Bamgboye, A. I. 2005. Thermochemical Conversion of Municipal Solid Waste to Produce Fuel and Reduce Waste. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol. 7. Pp.1-8.
- 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*. Vol. 101. Pp. 472–479.

- Pahlepi, R., Sembiring, S., dan 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.1. No. 2. Pp. 161-169.
- Prastanto, H., Cifriadi, A., dan Ramadhan, A.. 2015. Karakteristik dan Hasil Uji Marshall Aspal Termodifikasi dengan Karet Alam Terdepolimerisasi Sebagai Aditif. *Jurnal Penelitian Karet*. Vol. 33. No.1. Pp. 75 – 82.
- Puntharod, R., Sankram, C., Chantamee, N., Pookmanee, P., dan Haller, K. J. 2013. Synthesis and Characterization of Wollastonite from Egg Shell and Diatomite by the Hydrothermal Method. *Journal of Ceramics Processing Research*. Vol. 14. No. 2. Pp. 198-201.
- Putri, A. I., Sundaryono, A., dan Candra, I. N. 2018. Karakterisasi nanopartikel kitosan ekstrak daun ubi jalar (*ipomoea batatas* l.) menggunakan metode gelasi ionik. *Alotrop: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. Vol. 2. No.2. Pp. 203-207.
- Puziy, M. A., Mel'gunov, M.S., Charmas, B., Poddubnaya, O. I., Leboda, R., dan Trznadel B. J. 2003. Surface Heterogeneity of Carbon/Silica Adsorbents Studied on The Basis of The Complex Adsorption Investigations. *Colloids and Surfaces A*. Vol. 213. Pp. 45-57.
- Qin, X., Shen, A., Guo, Y., Li, Z., dan Zhenghua, Lv. 2018. Characterization of Asphalt Mastics Reinforced with Basalt Fibers. *Construction and Building Materials*. Vol. 159. Pp. 508–516.
- Rachmawati, Q. dan Herumurti, W. 2015. Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 4, No. 1. Pp. 27-29.
- Rahman, I. A., dan Padavettan, V. 2012. Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol Gel: Size Dependent Properties, Surface Modification, and Applications in Silica Polymer Nanocomposites a Review. *Journal of Nanomaterials*. Pp. 1-15.
- Rashid, R. A., Shamsudin, R., Hamid, M. A., dan Jalar, A. 2014. Low Temperature Production of Wollastonite from Limestone and Silica Sand Through. *Journal of Asian Ceramic Societies*. Vol. 2. Pp. 77–81.
- Ridhuan, K., dan Suranto, J. 2016. Perbandingan Pembakaran Pirolisis dan Karbonisasi pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Turbo*. Vol. 5 No. 1. Pp. 50-56.
- Ridhuan, K., Irawan, D., Zanaria, Y., dan Firmansyah, F. 2019. Pengaruh Jenis Biomassa Pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik dan Efisiensi

- bioarang – Asap Cair Yang Dihasilkan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol. 20. No. 1. Pp. 18-27.
- Rimpung, I. K. 2017. Analisis Perubahan Kekerasan Permukaan Baja (St. 42) Dengan Perlakuan Panas 800 °C Menggunakan Metode Vickers di Laboratorium Uji Bahan Politeknik Negeri Bali. *Jurnal Logic*. Vol. 17. No. 1. Pp. 67-72.
- Ritonga, H Ahmad. 2017. Modifikasi Aspal Polimer Memanfaatkan Karet Ban Bekas Menggunakan Divenil Benzena dan Dikumul Peroksida Melalui Proses Ekstrusi. *Jurnal Kimia Saintek dan Pendidikan*. Vol. 1 No.1. Pp. 8-13.
- Sarsam, S. I. 2013. Improving Asphalt Cement Properties by Digestion with Nano Materials. *Research and Application of Material*. Vol 1. No. 6. Pp. 61-64.
- Sartono, A. A. 2007. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Universitas Indonesia. Jakarta. Pp. 8-12.
- Sembiring, S., Riyanto, A., Situmeang, R., dan Sembiring, Z. 2019. Bituminous Composite Comprising Amorphous Silica From Rice Husks. *Ceramics-Silikaty*. Vol.63. No.3. Pp. 277-286.
- Sembiring, S., Laili, Endah, Suwarni, Simanjuntak, W., dan Situmeang R. 2019. Preliminary Study on Functional Groups Characteristics of Asphalt Containing Rice Husk Silica. *Journal of Technomaterials Physics*. Vol. 1. No. 1. Pp. 63 – 68.
- Sembiring, S., Riyanto, A., Firdaus, I., Junaidi, Ningtias, E. A., and Situmeang, R. 2021. Structural Characterisation of Asphalt-Rice Husk Silica Composites. *Ceramics-Silikáty*. Vol. 65. No.3. Pp. 215-223.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Mudzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material; Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung: UPI Press.
- Shell Bitumen. 2003. *The Shell Bitumen Hand Book*. Published by Shell Bitumen. Uniterd Kingdom. Pp. 42-46.
- Shukur, M. M., Majeed, E. A., dan Obied, M. M. 2014. Characteristic of Wollastonite Synthesized from Local Raw Materials . *International Journal of Engineering and Technology*. Vol. 4. No. 7. Pp. 426-429.
- Simanjuntak W., Sembiring, S., dan 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. Pp. 119-125.

- Slamet, S. 2015. Studi Eksperimen Pemilihan Biomassa Untuk Memproduksi Gas Asap Cair ( Liquid Smoke Gases ) sebagai Bahan Pengawet. *Jurnal Simetris*. Vol. 6. No. 1. Pp. 189-196.
- SNI 06-2438-1991. Metode Pengujian Kadar Aspal (Densitas), Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Sun, L., dan Gong, K. 2001. Silicon Based Materials from Rice Husks and Their Applications. *Journal of Industrial Engineering Chemistry*. Vol. 40. No. 25. Pp. 5861-5877.
- Sun, Y. S., Li, A. L., Xu, F. J., dan Qiu, D. 2013. A Low Temperature Sol Gel Route for the Synthesis of Bioactive Calcium Silicates. *Journal of Chinese Chemical Letters*. Vol. 24. Pp. 170–172.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, dan Dimiyati, A. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) Untuk Arakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal of Forum Nuklir (JFN)*,. Vol. 9. No. 2. Pp. 44-50.
- Suka, I. G., Wasinton, S., Simon, S., dan Evi, T. 2008. Karakteristik Silika Sekam Padi Dari Provinsi Lampung Yang Diperoleh Dengan Metode Ekstraksi. *Jurnal MIPA*. Vol. 37. Pp. 47-52.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit. Jakarta. Hal. 26-31.
- Thanaya, I. N. A., Puranto, I. G. R., dan Nugraha, I. N. S. 2016. Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks. *Jurnal Ilmu dan Terapan Bidang Teknik Sipil*. Vol. 22. No. 2. Pp. 77-86.
- Umeda, J., Kondoh, K., dan Michiura, Y. 2007. Process Parameters Optimization in Preparing High Purity Amorphous Silica Originated from Rice Husks. *Journal of Materials Transactions*. Vol. 48. No. 12. Pp. 3095-3100.
- Villacorta, F. L. dan Nordbeck, A. V. 2017. Optimum content of nano-silica to ensure proper performance of an asphalt binder. *Road Materials and Pavement Design*. Vol. No. 20. Pp. 1-12.
- Wang, F., Yang, J., dan Wu, K. 2009. Mesoporous Silica Based Electrochemical Sensor for Sensitive Determination of Environmental Hormone Bisphenol. *Journal of Analytical Chimica Acta*. 638 Vol.. No. 2-3. Pp. 3–28.
- Wijayanti, W., Sasongko, M. N., Meidiana, C., dan Yuliati, L. 2013. Metode Pirolisis Untuk Penanganan Sampah Perkotaan Sebagai Penghasil Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol.4. No.2. Pp. 85-92.
- Wignall, A. 1999. *Proyek Jalan : Teori dan Praktek*. Erlangga. Jakarta. Hal. 2425.

- Xu, L., Long, T., and Guo, Q. 2010. An Easy Method to Control Carbon Content in Carbosils. *Mater Manuf Processes*. Vol. 25. Pp. 654–657.
- Yang, J., dan Tighe, S. 2013. A Review of Advances of Nanotechnology in Asphalt Mixtures. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. Vol. 96. Pp. 1269-1276.
- Yildirim, Yetkim. 2007. Polymer Modified Asphalt Binders. *Construction and Building Materials*. Vol. 21. No. 1. Pp. 66-72.
- Zaky, R. R., Hessien, M. M., El-Midany, A. A., Khedr, M. H., Abdel, E.A. dan El-Barawy, K. A. 2008. Preparation of Silica Nanoparticles from Semi Burned Rice Straw Ash. *Journal of Powder Technology*. Vol. 185. No. 1. Pp. 31-35.
- Zulkifli, N. S. C., Rahman, I. A., Mohamad, D., dan Hussein, A. 2011. A Green Sol Gel Route for the Synthesis of Structurally Controlled Silica Particles from Rice Husk for Dental Composites Filler. *Journal of Ceramics International*. Vol. 39. No. 4. Pp. 4559-4567.