



## Karakteristik Struktur Dan Fungsional Aspal Komposit dengan Perbandingan 85%:15%

Samuel Nugroho Putra\*, Simon Sembiring, dan Agus Riyanto

Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

### Article Information

#### Article history:

Received Oktober 26<sup>th</sup>, 2021

Received in revised form

November 16<sup>th</sup>, 2021

Accepted November 18<sup>th</sup>, 2021

**Keywords:** Silica, Rice Husk, Asphalt, XRD, FTIR, Composite

### Abstract

Synthesis and characterization of rice husk and asphalt silica composites was carried out with a ratio of 85%: 15%. Silica synthesis from rice husk was carried out by the sol-gel method. The materials used in this study were rice husks, asphalt, distilled water, gasoline, NaOH and HNO<sub>3</sub>. Then the silica and asphalt according to the comparison is set at 110°C. This study aims to look at the structural characteristics, functionality and physical properties, namely water content and thickness development of the sample. Based on the research that has been done, it can be concluded that from the results of XRD characterization the samples have silica and amorphous carbon structures, then based on FTIR characterization shows the -OH (hydroxyl) functional groups occur at wave number 3524 cm<sup>-1</sup>, the hydroxide metal Si-OH (silanol) is oxidized into Si - O - Si and Si - O are formed at wave numbers 1084 cm<sup>-1</sup>, 810 cm<sup>-1</sup> and 462 cm<sup>-1</sup> and the formation of the C-H and C=O function group occurs at wave numbers 2923 cm<sup>-1</sup> and 2361 cm<sup>-1</sup>. Then test the physical properties of the water content of 7.642% with a change in thickness development of 4.783%.

### Informasi Artikel

#### Proses artikel:

Diterima 26 Oktober 2021

Diterima dan direvisi dari

16 November 2021

Diterima 18 November 2021

**Kata kunci:** Silika, Sekam Padi, Aspal, XRD, FTIR, Komposit.

### Abstrak

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi komposit silika sekam padi dan aspal dengan perbandingan 85%:15%. sintesis silika dari sekam padi dilakukan dengan metode sol-gel. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sekam padi, aspal, akuades, bensin, NaOH dan HNO<sub>3</sub>. Kemudian silika dan aspal sesuai perbandingan di padatkan pada suhu 110°C. Penelitian ini bertujuan untuk melihat karakteristik struktur, fungsional dan sifat fisis yaitu kadar air dan pengembangan tebal dari sampel. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa dari hasil karakterisasi XRD maka sampel memiliki struktur silika dan karbon amorf, kemudian berdasarkan karakterisasi FTIR menunjukkan gugus fungsi - OH (hidroksil) terjadi pada bilangan gelombang 3524, logam hidroksida Si - OH (silanol) teroksidasi menjadi Si - O - Si dan Si - O terbentuk pada bilangan gelombang 1084 cm<sup>-1</sup>, 810 cm<sup>-1</sup> dan 462 cm<sup>-1</sup> dan terbentuknya gugus fungsi C - H dan C=O terjadi pada bilangan gelombang 2923 cm<sup>-1</sup> dan 2361 cm<sup>-1</sup>. Kemudian uji sifat fisis kadar air sebesar 7.642% dengan perubahan pengembangan tebal sebesar 4.783%.

### 1. Pendahuluan

Penelitian pemanfaatan limbah dari sektor pertanian sampai saat ini masih intensif dilakukan untuk mengembangkan teknologi dan diarahkan untuk mendapatkan material yang memiliki sifat-sifat lebih unggul (Syahrani *et al.*, 2016). Sekam padi dimanfaatkan masyarakat hanya sebagai pupuk organik dan dibakar, tumpukan sekam padi yang terbakar tidak memiliki nilai jual dan menjadi salah satu limbah panen yang mengakibatkan lingkungan sekitar menjadi tidak sehat (Fahmi *et al.*, 2016).

Sekam padi mengandung silika sebanyak 87%-97% (Handayani *et al.*, 2015). Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki kelebihan dibandingkan silika mineral, antara lain memiliki butiran halus, lebih reaktif. Silika sekam padi yang diekstraksi dengan alkalis menurut Sembiring and Karo Karo (2007) diperoleh analisis struktur dasar

\* Corresponding author.

E-mail address: samuel.nugroho13@gmail.com

dengan *X-ray Diffraction* (XRD) tanpa dilakukan sintering memiliki struktur amorf. Analisis FTIR menunjukkan adanya gugus silanol dan siloksan.

Aspal merupakan material berwarna hitam sampai coklat tua yang pada suhu ruang berbentuk padat (Mashuri, 2010). Komposisi aspal terdiri dari *Asphaltenes* dan *Maltenes* (You *et al.*, 2011). Unsur yang terkandung antara lain karbon, hidrogen, sulfur, oksigen dan nitrogen (Nuryanto, 2008). *Maltenes* mengandung unsur resin, aromatik, dan saturasi. Aspal memiliki sifat viskoelastis, kental, tahan terhadap pelapukan, dan kedap air (Asphalt Institute, 1993).

Penelitian aspal komposit dengan bahan polimer antara lain, *Styrene Butadiene Styrene* (SBS), karet ban bekas dan serat karbon. Behnood and Gharehveran (2018) mengungkapkan bahwa komposit aspal polimer dapat meningkatkan resistansi pengikat rutting, pemulihan elastisitas dan resistansi keausan. Selain itu, silika dapat digunakan untuk meningkatkan sifat fisis dari aspal. Penelitian tentang komposit silika aspal dapat menurunkan nilai penetrasi dan titik lembek (Shafabakhsh dan Ani, 2015). Alhamali *et al.* (2015) menyimpulkan penambahan 6% nanosilika menurunkan nilai penetrasi aspal, yang mengindikasikan bahwa nilai kekerasan aspal meningkat.

### Silika Sekam Padi

Silika sekam padi lebih reaktif dikarenakan struktur amorf, serta ketersediannya yang berlimbah dan mengandung silika yang tinggi 94,5%-97,3%.

#### 1. Struktur dan Fungsioanal Silika Sekam Padi

Silika sekam padi dengan metode pengabuan pada suhu 750°C dan *dileaching* memiliki struktur amorf, serta memiliki vibrasi ulur gugus siloksan (Si-O-Si) (Sapei *et al.*, 2015). Menurut hasil penelitian Fernandes *et al.* (2017) silika sekam padi dengan metode alkalis tetap memiliki struktur amorf walaupun disintering pada suhu 800°C dan akan membentuk struktur kristalinitas pada suhu di atas 800°C. Bakar *et al.* (2016) mengungkapkan bahwa silika sekam padi dengan metode pengabuan tanpa *dileaching* akan tetap memiliki struktur amorf pada suhu 900°C dan akan berubah fasa menjadi kristalin di atas suhu pengabuan 900°C, serta hasil FTIR menunjukkan adanya vibrasi tekuk dari gugus O-Si-O.

#### 2. Karakteristik Silika Sekam Padi

Chandrasekar *et al.* (2005) mengungkapkan bahwa silika sekam padi memiliki luas permukaan yang luas (259,5 m<sup>2</sup>/g) dan bersifat hidrofilik yang disebabkan ketidakteraturan susunan SiO<sub>4</sub>. Silika sekam padi memiliki titik lebur 1740°C dan titik didih 2230°C (Todkar *et al.*, 2016). Yalcin dan Sevinc (2001) mengungkapkan bahwa silika sekam padi memiliki densitas yang tinggi (1,960 g/cm<sup>3</sup>). Nilai kuat tarik dan nilai kekerasan yang dimiliki silika sekam padi sangat tinggi (Dominic *et al.*, 2013).

### Aspal

Aspal berfungsi sebagai perekat batuan, agregat maupun filler, kemampuan penting dari aspal yaitu kelekatan, titik lembek dan kelenturannya (Edison, 2010). Aspal tersusun dua senyawa dominan, *asphaltenes* dan *maltenes*. *Asphaltenes* senyawa coklat dan hitam yang mengandung karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur dan oksigen, yang menyebabkan aspal menjadi keras. *Maltenes* mengandung senyawa aromatik saturasi dan resin. Kandungan resin dalam aspal menyebabkan adhesi aspal menjadi kuat (Shell, 2003).

### Aspal Komposit Polimer

Wang and wang (2019) mengungkapkan bahwa komposit aspal polimer dapat meningkatkan resistansi pengikat rutting dan waktu pemulihan elastis yang singkat dan nilai kekerasan yang tinggi. Aspal yang ditambahkan dengan SBR 5% memiliki nilai titik lembek yang lebih tinggi (75°C) dan meningkatkan nilai viskositas dari 500 cP menjadi 1200 cP. Hasil FTIR Ritonga (2017) menunjukkan adanya ikatan C-O, C=C dan CH aromatis. Serta, hasil XRD Nciri *et al.* (2017) mengungkapkan bahwa komposit aspal polimer memiliki struktur amorf.

### Aspal Komposit Silika

Zghair *et al.* (2019) mengungkapkan bahwa aspal yang ditambahkan 6% silika komersial menurunkan nilai penetrasi dan meningkatkan nilai titik lembek dan daktilitas. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Alhamali *et al.* bahwa nilai penetrasi yang kecil mengindikasikan bahwa nilai kekerasan aspal yang tinggi. Hasil FTIR Enieb and Diab (2017) menunjukkan adanya ikatan gugus C-H, O-H dan N-H. Selain itu, hasil XRD Yussof *et al.* (2019) bahwa penambahan silika pada aspal tidak merubah struktur dari aspal tersebut, tetap memiliki struktur amorf.

## 2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah silika sekam padi, aspal, NaOH, HNO<sub>3</sub>, Akuades dan bensin.

### Ekstraksi Silika Sekam Padi

Sekam padi hasil preparasi, selanjutnya diekstraksi untuk mendapatkan silika. Silika dari sekam padi dilakukan dengan metode ekstraksi alkalis. Sekam padi ditimbang sebanyak 500 gram, dimasukkan dalam toples. Kemudian ditambahkan larutan NaOH 1,5% sebanyak 5 liter hingga sekam padi terendam. Selanjutnya dipanaskan menggunakan kompor listrik dengan daya 600 Watt hingga mendidih selama ± 30 menit dan diaduk secara perlahan-lahan agar busanya tidak menguap dan tidak tumpah. Lalu didiamkan hingga uap panas hilang dan dilakukan penutupan dengan plastik *cling wrap* kemudian didiamkan selama 24 jam.

Setelah didiamkan, ampas sekam padi disaring dipisahkan dari ekstrak sekam padi menggunakan corong *bucher* untuk memperoleh sol silika (filtrat silika terlarut) dan menyaring filtrat tersebut menggunakan saringan

agar terpisah dari zat pengotor (organik). Ekstrak sol silika tersebut kemudian ditetesi sedikit demi sedikit menggunakan larutan  $\text{HNO}_3$  10% sebanyak 1 liter hingga menjadi gel silika dan mencapai pH 7. Perubahan proses gel ini dilakukan menggunakan *hot plate stirrer* dengan kecepatan 1000 rpm agar larutannya homogen. Gel silika yang selanjutnya didiamkan selama 24 jam. Gel silika yang didiamkan tersebut berwarna coklat kehitaman, selanjutnya dicuci dengan akuades hangat dan disaring menggunakan kertas saring hingga gel silika berwarna putih. Gel silika kemudian dioven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama  $\pm 3$  jam hingga kering dan diperoleh silika padatan. Selanjutnya silika digerus dengan menggunakan mortar dan pastel hingga menjadi serbuk silika dan berwarna putih. Serbuk silika yang sudah digerus kemudian diayak 250 mesh untuk mendapatkan serbuk silika yang halus dan homogen.

### Pembuatan Paduan Silika Aspal

Paduan silika aspal pada penelitian ini dengan perbandingan silika aspal yaitu 85%:15% atau dalam total gram dalam sampel sebesar 5 gram. Pembuatan paduan silika aspal diawali dengan menimbang aspal sebanyak 0,75 gram kemudian dilarutkan dengan bensin sebanyak 30 ml sambil diaduk dan dipanaskan dengan *hot plate stirrer* pada suhu  $160^\circ\text{C}$ .

Setelah aspal sudah cair ditambahkan serbuk silika sebanyak 4,25 gram dengan memasukkan ke dalam larutan aspal secara perlahan-lahan dan diaduk dengan spatula hingga homogen. Setelah itu dilakukan pengeringan sampel paduan silika aspal dengan menggunakan oven selama  $\pm 3$  jam pada suhu  $150^\circ\text{C}$ . Selanjutnya sampel digerus dengan mortar dan pastel. Sampel yang sudah digerus kemudian diayak 150 mesh untuk mendapatkan serbuk paduan silika aspal. Setelah itu dilakukan pemeletan kemudian sampel di karakterisasi dan diuji.

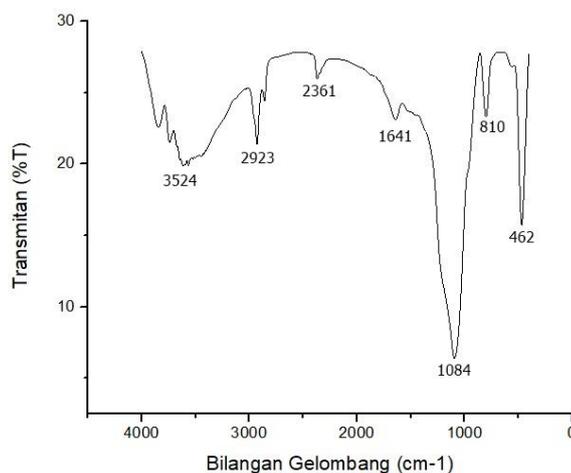
### Karakterisasi

Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah, FTIR, XRD dan uji sifat fisis yaitu kadar air dan pengembangan tebal.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### Hasil Karakterisasi FTIR

Pengujian FTIR telah dilakukan terhadap sampel silika aspal pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dari sampel yang diuji.



**Gambar 1.** Grafik Pengujian FTIR

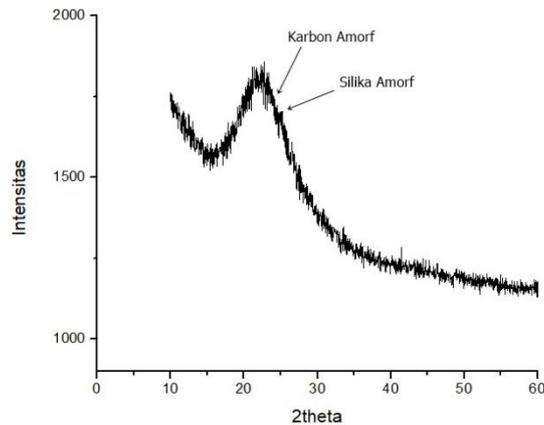
Berdasarkan **Gambar 1** bilangan gelombang  $3524\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan keberadaan molekul air dan terjadinya ikatan logam hidroksida (Si-OH). Keberadaan molekul air dalam sampel diperkuat dengan adanya puncak penyerapan pada bilangan gelombang  $1641\text{ cm}^{-1}$ , sesuai dengan hasil penelitian Purwanto *et al.* (2012) serta Herlina dan Safitra (2018) bahwa daerah penyerapan vibrasi tekuk gugus -OH(Si-OH) terdapat pada bilangan gelombang  $1635\text{-}1655\text{ cm}^{-1}$ .

Selain itu, terdapat gugus Si-O-Si pada bilangan gelombang  $1084\text{ cm}^{-1}$ , keberadaannya diperkuat dan disebabkan dari perubahan bentuk gugus Si-O pada bilangan gelombang  $810\text{ cm}^{-1}$  dan  $462\text{ cm}^{-1}$ .

Puncak pada bilangan gelombang  $2923\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan keberadaan aspal ditandai adanya gugus C-H yang berasal dari alkana dan diperkuat dengan hadirnya gugus C=O pada bilangan gelombang  $2351\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang *et al.* (2011) bahwa pada daerah bilangan gelombang  $2850\text{-}2960\text{ cm}^{-1}$  merupakan daerah serapan vibrasi ulur gugus C-H dalam rantai alifatik.

### Hasil Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel. Pengujian menunjukkan hasil analisis seperti pada **Gambar 2** berikut.



**Gambar 2.** Spektrum XRD

Hasil difraktogram memperlihatkan terbentuknya struktur amorf. Struktur amorf pada hasil XRD ditandai dengan pola difraksi yang membentuk bukit dan memiliki daerah  $2\theta$  yang lebar. Keberadaan silika amorf diperlihatkan pada rentang  $2\theta=19-25^\circ$  dengan intensitas tertinggi pada  $2\theta=23,18^\circ$ . Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Andreas *et al.* (2016) dan Chandrasekhar *et al.* (2005), bahwa silika amorf terdapat pada rentang  $2\theta=21-24^\circ$ .

Selain itu, karbon amorf juga terdapat dalam sampel akibat penambahan aspal, karbon amorf terbentuk pada pola difraksi di kisaran  $2\theta = 18-23^\circ$  dengan intensitas tertinggi pada  $2\theta = 22.74^\circ$ . Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ardaniswari *et al.* (2020) bahwa keberadaan karbon amorf ditandai dengan puncak yang melebar pada rentang  $2\theta = 18-24^\circ$ .

Hasil ini didukung dengan pengujian SEM-EDS yang menunjukkan sampel mengandung karbon (C), oksigen (O), silikon (Si), sulfur (S) dan aluminium (Al) yang memperjelas bahwa sampel yang diuji adalah aspal komposit dengan variasi silika.

#### Hasil Uji Fisis Kadar Air dan Pengembangan Tebal

Pengujian fisis kadar air dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kandungan air pada sampel, pengujian kadar air dilakukan berdasarkan pada SNI: 03-1971-1990. Kemudian pengujian pengembangan tebal dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan pengembangan tebal sampel pada perbandingan ini. Hasil uji sifat fisis disajikan pada **Tabel 1**.

Nilai kadar air pada sampel adalah sebesar 7.642% Hasil ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Fahmi dan Nurfalaah (2016) yang mengatakan semakin tinggi kandungan silika dalam suatu sampel maka semakin tinggi pula pengikatan silika terhadap OH dan O yang berasal dari uap air sehingga meningkatkan nilai kadar airnya.

Nilai pengembangan tebal pada sampel adalah 4.783%, hal ini disebabkan pori-pori pada silika sudah terisi oleh aspal sehingga menyebabkan sifat hidrofilik pada silika menurun.

**Tabel 1.** Pengukuran Kadar Air dan Pengembangan Tebal

Pengulangan	Massa awal (g)	Massa akhir (g)	Nilai Kadar Air (%)
1	34.073	33.764	7.672
2	33.991	33.682	7.590
3	34.065	33.756	7.664
Rata-rata	34.043	33.734	7.642
	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Pengembangan Tebal (%)
1	6.27	6.58	4.762
2	6.39	6.70	4.776
3	6.78	7.09	4.813
Rata-rata	6.48	6.79	4.783

Hasil ini sesuai dengan penelitian Ardaniswari *et al.* (2020) bahwa nilai pengembangan tebal rendah disebabkan oleh silika yang bersifat tidak larut dalam air sudah diikat oleh aspal yang bersifat kedap terhadap air dan viskoelastis sehingga menyebabkan nilai pengembangan tebal yang dihasilkan mengalami penurunan.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa dari hasil karakterisasi XRD maka sampel memiliki struktur silika dan karbon amorf, kemudian berdasarkan karakterisasi FTIR menunjukkan gugus fungsi  $-OH$  terjadi pada bilangan gelombang 3524, dan terjadi ikatan logam hidroksida  $Si-OH$  (silanol). Gugus  $Si-O-Si$  terdapat pada bilangan gelombang 1084  $cm^{-1}$  disebabkan perubahan bentuk  $Si-O$  pada bilangan gelombang 792  $cm^{-1}$  dan 471  $cm^{-1}$  dan terbentuknya gugus fungsi  $C-H$  dan  $C=O$  terjadi pada bilangan gelombang 2923  $cm^{-1}$  dan 2361  $cm^{-1}$ . Kemudian uji sifat fisis kadar air sebesar 7.642% dengan pengembangan tebal sebesar 4.783%.

## 5. Daftar Pustaka

- Alhamali, D. I., Wu, J., Liu, Q., Hassan, N. A., Yusoff, N. I. Md. and Ali, S. I. A. 2015. Physical and Rheological Characteristics of Polymer Modified Bitumen with Nanosilica Particles. *Journal Arab Sci-Eng.* 10.
- Andreas, A., Kristianto, H. and Kurniawan, D. F. 2016. Sintesis Nanosilika dari Sekam Padi Menggunakan Metode Sol Gel dengan Pelarut Etanol. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*.
- Ardaniswari, D. W., Josalina., Haritsah, H., and Sembiring, S. 2020. Karakteristik termal dan fungsionalitas komposit silika sekam padi dengan aspal. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika.* 8(1):101-110.
- Asphalt Institute. 1993. *Mix Design Method for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types Manual Series No. 4 (MS-4) Fourth Edition.* Lexington. USA.
- Bakar, R. A., Yahya, R. and Gan, S. N. 2016. Production of high purity amorphous silica from rice husk. *Procedia Chemistry.* 19:189-195.
- Behnood, A. and Gharehveran, M. M. 2018. Morphology, Rheology, and Physical Properties of Polymer-modified asphalt binders. *Journal European Polymer.* 18(2):1-77.
- Chandrasekhar, S., Pramada, P. N. and Praveen, L. 2005. Effect of organic acid treatment on the properties of rice husk silica. *Journal of Materials Science.* 40:6535-6544.
- Dominic, C. D. M., Begum, P. M. S., Joseph, R., Joseph, D., Kumar, P. and Ayswarya, E. P. 2013. Synthesis, characterization and application of rice husk nanosilica in natural rubber. *International Journal of Science, Environment.* 2(5):1027-1035.
- Edison, B. 2010. Karakteristik campuran aspal panas (aspal concrete-binder course) menggunakan aspal polimer. *Jurnal APTEK.* 2(1):60-71.
- Enieb, M. and Diab, A. 2017. Characteristics of asphalt binder and mixture containing nanosilica. *International Journal of Pavement Research and Technology.* 10(10):148-157.
- Fahmi, H. and Nurfalaah, A. L. 2016. Analisa daya serap silika gel berbahan dasar abu sekam padi. *Jurnal Ipteks Terapan.* 10(3):176-182.
- Fernandes, I. J., Calheiro, D., Sanchez, F. A. L., Camacho, A. L. D., Rocha, Tatiana, L. A. C., Moraes, C. A. M. and Sousa, V. C. 2017. Characterization of silica produced from rice husk ash: comparison of purification and processing methods. *Materials Research.* 20:512-518.
- Handayani, P. A., Nurjanah, E. and Rengga, W. D. P. 2015. Pemanfaatan limbah sekam padi menjadi silika gel. *Journal Bahan Alam Terbarukan.* 4(2):55-59.
- Herlina, I. and Safitra, E. R. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Silika Tersulfatasi dari Sekam Padi. *Jurnal Rekaya Proses.* 12(1):17-22.
- Mashuri. 2010. Karakterisasi aspal sebagai bahan pengikat yang ditambahkan Styrofoam. *Jurnal SMARTek.* 8(1):1-12.
- Nciri, N., Kim, N. and Cho, N. 2017. New insights into the effects of styrene-butadiene styrene polymer modifier on the structure, properties, and performance of asphalt binder: The case of AP-5 asphalt and solvent deasphalting pitch. *Material Chemistry and Physics.* 193:477-495.
- Nuryanto, A. 2008. *Aspal Buton dan Propelan Padat Jilid II Edisi Keempat.* Erlangga. Jakarta.
- Purwanto, A. S., Taslimah and Sriatun. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Silica Gel dari Tetraetilortosilikat (TEOS) Menggunakan Surfaktan Polyethylene Glycol (PEG) 6000 dalam Kondisi Basa. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi.* 12(1):1-6.
- Ritonga, A. H. 2017. Preparasi dan Karakterisasi Aspal Polimer dari Limbah Styrofoam DAN Karet Ban Menggunakan Inisiator Dikumul Perioksida 176 dan KOMPATIBILIZER Divenil Benzena. *Prosiding Seminar Nasional Kimia.*

- 
- Sapei, L., Padmawijaya, K. S., Sutejo, A. and Theresia, L. 2015. Karakterisasi silika sekam padi dengan variasi temperature leaching menggunakan asam asetat. *Jurnal Teknik Kimia*. 9(2):38-43.
- Sembiring, S. and Karo-Karo, P. 2007. Pengaruh suhu sintering terhadap karakteristik termal dan mikrostruktur silika sekam padi. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 13(3):233-239.
- Shafabakhsh, G.H. and Ani, O. J. 2015. Experimental investigation of effect of Nano TiO<sub>2</sub>/SiO modified bitumen on the rutting and fatigue performance of asphalt mixtures containing steel slag aggregates. *Construction and Building Materials*. 98:692-702.
- Shell, B. 2003. The Shell Bitumen Hand Book. Published by Shell Bitumen. United Kingdom.
- Syaharani, F. P., Ernawati, E. E., Solihudin., Haryono and Tjokronegoro, R. 2016. Pembuatan Komposit Selulosa Asetat-Silika Sekam Padi. Peran Penelitian Ilmu Dasar dalam Menunjang Pembangunan Berkelanjutan. *Prosiding Seminar Nasional MIPA*. Jatinangor.
- Todkar, B. S., Deorukhkar, O. A. and Deshmukh, S. M. 2016. Extraction of silica from rice husk. *International Journal of Engineering Research and Development*. 12(3):69-74.
- Wang, C. and Wang, Y. 2019. Physico-chemo-rheological characterization of neat and polymer-modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*. 199. (2):471-482.
- Yalcin, N. and Sevinc, V. 2001. Studies on silica obtained from rice husk. *Ceramics international*. 27:219-224.
- You, Z., Beale, J. M., Foley, J. M., Roy, S., Odegard, G. M., Dai, Q. and Goh, S. W. 2011. Nanoclay-modified asphalt materials: preparation and characterization. *Construction and Building Materials*. 25(2):1072-1078.
- Yusoff, N. I. Md., Alhamali, D. I., Ibrahim, A. N. H., Rosyidi, S. A. P. and Hassan, N. A. 2019. Engineering characteristics of nanosilica/polymer-modified bitumen and predicting their rheological properties using multilayer perceptron neural network model. *Construction and Building Materials*. 204:781-799.
- Zghair, H. H., Joni, H. H. and Hassan, M. S. 2019. Evaluation of the effect of mixing conditions of Micro-silica modified asphalt binders. *International Conference on Sustainable Engineering Techniques*. 518:1-14.
- Zhang, F., Yu, J. and Han, J. 2011. Effects of Thermal Oxidative Ageing on Dynamic Viscosity, TG/DTG, DTA and FTIR of SBS- and SBS/sulfur-modified Asphalts. *Construction and Building Materials*. 25:129-137