

Karakteristik Struktur Mikro, Struktur Fasa dan Sifat Fisis Komposit Silika Sekam Padi dengan Aspal

Devi Ika Safitri^{(a)*}, Simon Sembiring^(b), dan Leni Rumiyantri^(c)

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

Email : ^(a*)deviika48@gmail.com, ^(b)simon.sembiring@fmipa.unila.ac.id, ^(c)lenirumiyantri@fmipa.unila.ac.id

Diterima (23 September 2020), Direvisi (30 Juni 2022)

ABSTRACT. Synthesis and characterization silica of rice husks and asphalt composites have been carried out with a ratio of 65%: 35%; 70%: 30% and 75%: 25%. Silica synthesis from rice husk was carried out using the sol-gel method. The materials used in this research are rice husks, asphalt, aquades, gasoline, NaOH and HNO₃. The purpose of this study was to determine the effect of silica and asphalt mass variations on the characteristics of microstructure, phase structure and physical properties namely density and porosity. Based on the research that has been done, it can be concluded that the results of SEM analysis show the formation of wad and cracks on the surface of the sample with an average grain size of 3,236 μm , 3,728 μm and 2,924 μm . In the EDS analysis results it can be seen that the elemental content contained in the samples is silica, oxygen, carbon, sulfur, sodium and aluminum. Where are the elements that dominate are the elements of silica, oxygen and carbon. Then based on XRD characterization results it is known that the sample has structure amorphous silica and amorphous carbon. The amorphous silica structure experiencing a shift 2θ with the highest peak intensity, from $2\theta = 21^\circ$ to $2\theta = 22^\circ$. Furthermore, the physical properties test of density 2.402 g / cm³, 2.692 g / cm³ and 2.852 g / cm³. In the physical properties test the porosity obtained was 9,825%, 8,028% and 6,835%.

Keywords: Silica, Rice Husk, Asphalt, XRD, SEM/EDS, Composite

ABSTRAK. Sintesis dan karakterisasi komposit silika sekam padi dan aspal telah dilakukan dengan perbandingan 65%: 35%; 70%: 30% dan 75%: 25%. Sintesis silika dari sekam padi dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekam padi, aspal, aquades, bensin, NaOH dan HNO₃. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi massa silika dan aspal terhadap karakteristik struktur mikro, struktur fasa dan sifat fisik yaitu densitas dan porositas. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa hasil analisis SEM menunjukkan pembentukan gumpalan dan retakan pada permukaan sampel dengan ukuran butir rata-rata 3,236 μm , 3,728 μm , dan 2,924 μm . Dalam hasil analisis EDS dapat dilihat bahwa kandungan unsur yang terkandung dalam sampel adalah silika, oksigen, karbon, belerang, natrium dan aluminium. Di mana elemen yang mendominasi adalah elemen silika, oksigen dan karbon. Kemudian berdasarkan hasil karakterisasi XRD diketahui bahwa sampel memiliki struktur silika amorf dan karbon amorf. Struktur silika amorf mengalami pergeseran 2θ dengan intensitas puncak tertinggi, dari $2\theta = 21^\circ$ ke $2\theta = 22^\circ$. Selanjutnya, uji sifat fisik densitas 2,402 g / cm³, 2,692 g / cm³ dan 2,852 g / cm³. Pada uji sifat fisik porositas yang diperoleh adalah 9,825%, 8,028% dan 6,835%.

Kata kunci: Silika, Sekam Padi, Aspal, XRD, SEM/EDS, Komposit.

PENDAHULUAN

Dalam bidang teknologi saat ini pengolahan limbah dari sektor pertanian telah banyak dikembangkan. Pengolahan limbah ini bertujuan untuk mendapatkan jenis material rekayasa baru yang lebih unggul.

Salah satu jenis material rekayasa yang sedang dikembangkan adalah silika[1]. Silika merupakan jenis material yang dapat diperoleh dari bahan baku mineral dan nabati. Silika mineral banyak ditemukan dalam bahan tambang seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar. Sedangkan silika nabati

merupakan jenis silika yang diperoleh dari tumbuhan dengan ketersediaan bahan yang melimpah. Silika nabati banyak ditemukan pada tongkol jagung [2], ampas tebu [3], serabut kelapa, daun bambu [4] dan sekam padi [5]. Sekam padi memiliki kandungan silika yang cukup tinggi yaitu berkisar 94-96% [6]. Oleh sebab itu, sekam padi dapat digunakan sebagai material komposit silika terbaru.

Sekam padi merupakan kulit padi berwarna coklat muda yang membungkus butiran beras didalamnya. Sekam padi adalah salah satu limbah yang berlimpah terutama di negara agraris, sekam padi memiliki potensi yang cukup besar untuk dijadikan sumber silika. Komposisi yang terdapat didalam sekam padi terdiri dari selulosa, lignin, hemiselulosa dan silika. Silika sekam padi dapat diperoleh dengan menggunakan metode alkalis. Metode ekstraksi alkalis didasarkan pada kelarutan silika amorf dalam larutan alkalis seperti KOH, Na_2CO_3 dan NaOH, dengan kemurnain silika sebesar 95,35% [7].

Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat dengan formula umum SiO_2 . Silika memiliki dua jenis yakni silika kristalin dan silika amorf. Silika kristalin memiliki banyak bentuk, bergantung pada orientasi dan posisi tetrahedron yang dibentuk meskipun memiliki struktur kimia yang sama. Tiga bentuk umum silika kristalin adalah kuarsa, tridimit, kristobalik. Struktur kristal kuarsa, tridimit dan kristobalik memiliki nilai densitas masing-masing sebesar $2,65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $2,23 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ dan $2,27 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Silika non kristalin atau amorf merupakan senyawa sintesis yang memiliki susunan atom dan molekul berbentuk pola acak dan tidak beraturan. Struktur acak tersebut menyebabkan luas area permukaan yang tinggi yaitu $3 \text{ m}^2/\text{g}$. Silika amorf mempunyai stabilitas rendah, sehingga mudah untuk bereaksi (*ponzolane*) dengan pereaksi lain seperti pada silika sol, silika gel, silika endapan dan silika pirogenik.

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*) berwarna hitam atau

coklat tua dengan kandungan utamanya adalah karbon dan hidrogen. Aspal merupakan material yang bersifat *thermoplastis*, artinya aspal akan menjadi keras jika temperatur berkurang dan akan cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur [8]. Unsur-unsur yang terkandung dalam aspal yaitu karbon (82-88%), hidrogen (8-11%), sulfur (0-6%), oksigen (0-1,5%), dan nitrogen (0-1%) [9]. Pada aspal komposisi penyusunnya berupa *asphaltenes* dan *malthenes*. *Asphaltenes* merupakan salah satu komponen penyusun aspal berwarna hitam atau coklat tua bersifat padat yang mengandung campuran hidrokarbon kompleks (5%-25%) dan terdiri dari belerang, amina, amida, senyawa oksigen (keton, fenol atau asam karboksilat), nikel, dan vanadium. Pada *malthenes* terdapat tiga komponen penyusun yaitu *resin*, *aromatic*, dan *saturates*.

Komposit merupakan suatu material hasil kombinasi makroskopis dari dua atau lebih jenis material yang berbeda, sehingga akan memiliki sifat yang merupakan gabungan dari sifat-sifat dan karakteristik dasarnya untuk menghasilkan material yang lebih unggul dan mampu memenuhi syarat yang diperlukan. Penggunaan aspal umumnya sebagai bahan pengikat untuk pengeras jalan, namun saat ini dapat digunakan sebagai komposit aspal silika. Pengaruh dari pencampuran aspal dengan nanosilika yaitu dapat meningkatkan titik leleh, viskositas, kuat tarik, anti penuaan, kinerja retak leleh serta tahan terhadap kelembaban [10].

Berdasarkan pemaparan diatas, maka pada penelitian ini dilakukan suatu proses pencampuran paduan silika sekam padi yang di sintesis menggunakan metode *sol-gel* dan aspal untuk mengetahui analisis mikrostruktur dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM/EDS), analisis struktur dengan menggunakan X-

Ray Diffraction (XRD), analisis sifat fisis (densitas dan porositas).

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah silika sekam padi, aspal, NaOH, HNO₃, aquades 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 HNO₃ 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 aquades hangat dan disaring menggunakan kertas saring hingga gel silika berwarna putih. Gel silika kemudian dioven pada suhu 110 °C selama ± 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 65%:35%, 70%:30% dan 75%:25% atau dalam total gram dalam sampel sebesar 5 gram. Pembuatan paduan silika aspal diawali dengan menimbang aspal sebanyak 1.75, 1.5 dan 1.25 gram kemudian dilarutkan dengan bensin sebanyak 30 ml sambil diaduk dan dipanaskan dengan *hot plate stirrer* pada suhu 160 °C.

Setelah aspal sudah cair ditambahkan serbuk silika sebanyak 3.25, 3.5 dan 3.75 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 ± 3 jam pada suhu 150 °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

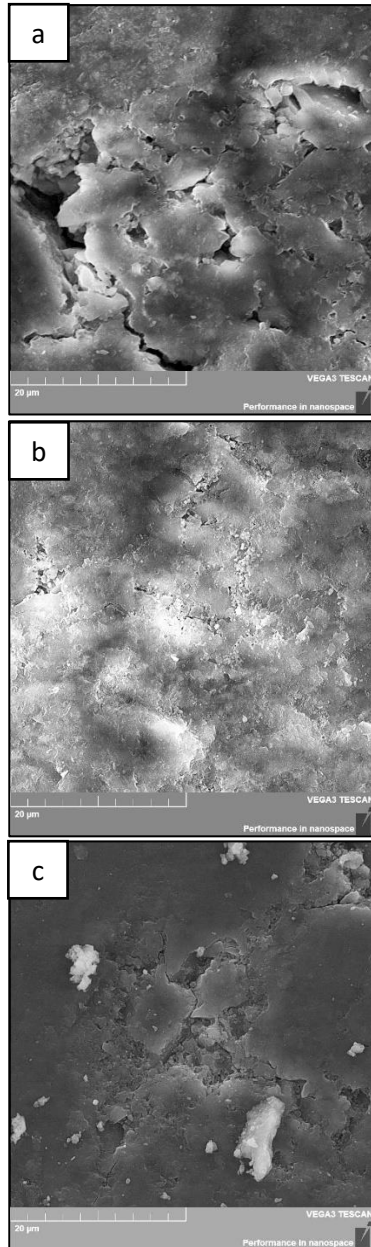
Karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis struktur mikro dengan SEM/EDS, analisis struktur XRD dan uji sifat fisis yaitu densitas dan porositas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi SEM/EDS

Analisis SEM menggunakan perbesaran 5000x, dan analisis ukuran

butiran menggunakan *software* ImageJ. **Gambar 1.** menampilkan hasil analisis SEM dengan ukuran butir yang disajikan pada **Tabel 1.**



Gambar 1. Analisis SE (a) SA1 65%:35% (b) SA2 70%:30% (c) SA3 75%:25%

Tabel 1. Analisis ukuran butir silika aspal

Sampel Silika Aspal	Ukuran Terkecil (µm)	Ukuran Terbesar (µm)	Rata-rata Ukuran butir (µm)
SA 1	1,004	9,258	3,236
SA 2	1,207	9,031	3,728
SA 3	1,149	9,321	2,924

Gambar 1. merupakan struktur topografi pada SA1, SA2 dan SA 3 yang memperlihatkan adanya retakan (*cracking*) dan gumpalan (*cluster*) yang besar serta ukuran butir yang beragam. Ukuran butir yang diperoleh pada sampel SA1 (**Gambar 1.a**) yaitu berkisar 1,004 µm – 9,258 µm dengan rata-rata ukuran butir sebesar 3,236 µm. **Gambar 1.b** merupakan sampel SA2 memiliki ukuran butir berkisar 1,207 µm – 9,031 µm dengan rata-rata ukuran butir sebesar 3,728 µm. Ukuran butir yang diperoleh dari SA3 (**Gambar 1.c**) sebesar 1,149 µm – 9,321 µm dengan rata-rata ukuran butir sebesar 2,924 µm.

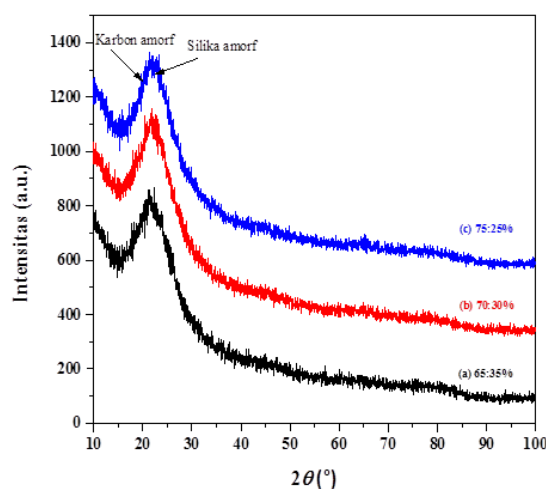
Pada analisis mikrostruktur, ketika jarak antara partikel semakin dekat dan semakin meratanya ukuran partikel yang terdapat dalam sampel, hal tersebut dapat dijadikan parameter bahwa sampel memiliki struktur yang homogen. Sehingga ketika ukuran butir dan gumpalan yang dihasilkan semakin halus atau kecil dapat mempengaruhi nilai kerapatan permukaan sampel [6]. Seperti pada hasil analisis ukuran butir menunjukkan bahwa ukuran butir yang diperoleh sampel semakin kecil. Selanjutnya yaitu hasil analisis kandungan unsur pada sampel silika aspal dengan EDS yang ditampilkan pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Komposisi sampel silika aspal

Unsur	Massa %		
	SA1	SA2	SA3
Karbon	37,00	27,65	22,67
Oksigen	32,67	36,86	40,98
Silikon	24,52	28,28	32,03
Sulfur	2,89	2,35	1,80
Sodium	1,83	3,08	1,81
Aluminium	1,09	1,78	0,69

Tabel 2. menampilkan bahwa setiap sampel mengandung unsur karbon, oksigen, silikon, sulfur, sodium dan aluminium, dengan persentase massa yang mendominasi yaitu unsur silika, oksigen dan karbon. Hasil analisis EDS menunjukkan bahwa kandungan unsur silika meningkat seiring dengan bertambahnya persentase silika, hal ini didukung dengan hasil analisis XRD yang menunjukkan bahwa struktur silika terbentuk pada puncak $2\theta = 21^\circ$ dan mengalami pergeseran pada $2\theta = 22^\circ$. Unsur karbon muncul dikarenakan pengaruh dari penambahan aspal terhadap silika, hal ini dapat diketahui dari komposisi unsur dalam aspal yang didominasi dengan unsur karbon sebesar 82-88% [11].

Kandungan aspal yang terdapat dalam sampel inilah yang menyebabkan terjadinya gumpalan (*cluster*) pada hasil analisis mikrostruktur permukaan silika aspal. Unsur aluminium muncul karena adanya kontaminasi pada saat silika hasil ekstraksi digerus dengan mortar dan penggunaan spatula untuk mengambil silika dalam mortar. Untuk unsur minoritas lainnya seperti sodium yang terdapat dalam sampel diindikasikan berasal dari silika. Sedangkan unsur sulfur diindikasikan berasal dari aspal, dimana kandungan sulfur dalam aspal yakni 0-6% [11].

**Gambar 2.** Difraktogram silika aspal

Hasil Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD bertujuan untuk menganalisis struktur yang terbentuk dari sampel. Hasil analisis XRD berupa kurva difraktogram hubungan antara intensitas dengan sudut difraksi (2θ). Hasil analisis XRD pada sampel ditunjukkan oleh **Gambar 2**.

Difraktogram pada sampel SA1, SA2 dan SA3 memperlihatkan terbentuknya struktur amorf. Struktur amorf pada analisis XRD dapat diketahui dengan pola difraksi yang membentuk puncak atau bukit dan memiliki daerah 2θ yang lebar. Silika amorf dapat teridentifikasi pada rentang $2\theta = 15-25^\circ$ sedangkan karbon amorf teridentifikasi pada rentang $2\theta = 17-23^\circ$. Pada analisis XRD terjadi pergeseran puncak silika amorf yakni dari $2\theta = 21^\circ$ menjadi $2\theta = 22^\circ$. Hal ini disebabkan karena adanya kandungan silika dan karbon pada sampel yang mengindikasikan bahwa aspal telah berinteraksi dengan silika.

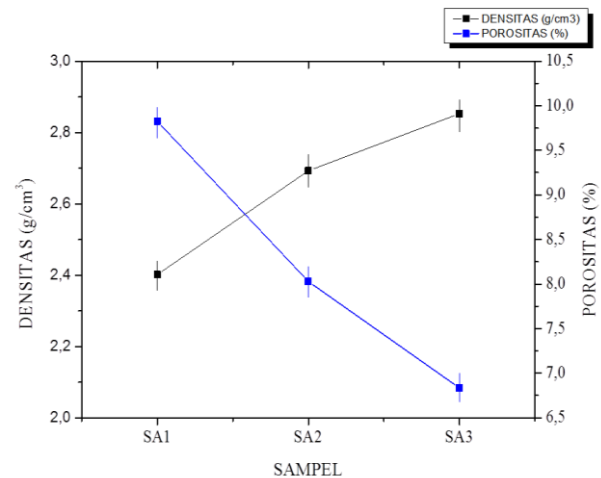
Pencampuran aspal pada sampel menyebabkan teridentifikasinya karbon amorf, kehadiran unsur karbon ini didukung dengan hasil analisis EDS [12] yang menunjukkan adanya unsur karbon pada komposit silika aspal. Puncak intensitas karbon amorf yang diperoleh pada sampel

SA1, SA2 dan SA3 terjadi pada $2\theta = 20^\circ$. Hal ini didukung dengan hasil penelitian Nazzal *et al.* (2013) memperlihatkan bawa difraktogram aspal yang terdapat karbon terjadi pada $2\theta = 20^\circ$.

Hasil Uji Densitas dan Porositas

Uji densitas digunakan untuk mengetahui nilai kerapatan suatu material, sedangkan uji porositas digunakan untuk mengetahui banyaknya ruang kosong yang terdapat pada material. Pengujian densitas dan porositas ini dilakukan secara bersamaan dengan menggunakan prinsip Archimedes. Hasil analisis yang diperoleh berdasarkan sifat fisis densitas dan porositas ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Berdasarkan **Gambar 3** kurva hasil uji densitas dan porositas menunjukkan bahwa pada sampel SA1 memiliki nilai densitas rendah yaitu sebesar $2,402 \text{ g/cm}^3$. Namun, nilai densitas pada SA2 dan SA3 mengalami peningkatan seiring dengan berkurangnya kadar aspal dalam sampel, masing-masing nilai densitas tersebut sebesar $2,692 \text{ g/cm}^3$ dan $2,852 \text{ g/cm}^3$. Peningkatan nilai densitas ini terjadi karena kandungan kadar aspal yang berbeda pada setiap sampel dan menunjukkan terjadinya pemadatan (*densifikasi*) yang merata pada sampel dan memungkinkan terjadinya perubahan struktur dan mikrostruktur [13].



Gambar 3. Kurva Densitas dan Porositas paduan silika aspal (a) SA1 65%:35% (b) SA2 70%:30% (c) SA3 75%:25%

Kemudian, pada nilai porositas terjadi penurunan dari SA1, SA2 dan SA3 dengan nilai porositas masing-masing sebesar 9,825%, 8,028% dan 6,835%. Menurunnya nilai porositas dipengaruhi oleh kandungan aspal yang telah berikatan dengan silika sehingga menutupi pori-pori sampel. Dimana partikel-partikel saling mengikat sehingga ukuran butirnya menjadi lebih kecil dan mengakibatkan penurunan pada nilai porositas. Menurunnya nilai porositas ini juga didukung hasil daya serap pada penelitian [14] yang mengindikasikan bahwa aspal telah mengikat silika sekam padi dan menutupi pori pada permukaan sampel sehingga tidak mampu mengikat lebih banyak molekul air. Selain itu, hal ini sesuai dengan karakteristik yang dimiliki aspal yaitu bersifat hidrofobik, ketika aspal yang dicampurkan dengan silika kemudian masuk ke dalam pori-pori dan menutupi seluruh permukaan [15].

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa hasil karakterisasi SEM menunjukkan

adanya (*cracking*) serta gumpalan (*cluster*) yang beragam dengan ukuran butir masing-masing 3,236 μm , 3,728 μm . dan 2,924 μm . Selanjutnya pada EDS menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan silika pada sampel maka persentase kadar silikon (Si), Oksigen (O) meningkan dan persentase kadar karbon (C) dan sulfur (S) semakin berkurang. Kemudian analisis XRD memperlihatkan bahwa terbentuk fasa silika amorf dan karbon amorf. Pada struktur silika amorf mengalami pergeseran 2θ dengan puncak intensitas tertinggi yakni dari $2\theta = 21^\circ$ menjadi $2\theta = 22^\circ$. Pada hasil uji sifat fisis densitas nilai yang diperoleh menurun seiring dengan bertambahnya kadar silika yakni sebesar 2,402 g/cm^3 , 2,692 g/cm^3 dan 2,852 g/cm^3 . Sedangkan pada nilai porositas mengalami peningkatan, nilai porositas tersebut yaitu sebesar 9,825%, 8,028% dan 6,835%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syahrani, F. K., Ernawati, E. E., Solihudin, Haryono and Tjokronegoro R. 2016. Pembuatan Komposit Selulosa Asetat Silika Sekam Padi. Departemen Kimia FMIPA Unpad. Jatinegoro.
- [2] Velmuragan, P., Shim, J., Lee, K. J., Cho, M., Lim, S. S., and Seo, S. K. 2015. Extraction charaction and calytic potensial of amorphous silica from corn cobs by sol gel method. *Journal of Industrial EngineeringChemistry*. Vol. 29. No. 6. Pp. 298-303.
- [3] Sjamsiah, Ramadani, K. and Hermawan. 2017. Analisis kandungan mineral dalam tanah liat alam sulawesi selatan sebagai bahan dasar sintesis keramik. *Al-Kimia*. Vol. 5. No. 1. Pp. 81-88.
- [4] Aminullah, Rohaeti, E. and Irzaman. 2015. Reduction of high purity silicon from bamboo leaf as basic material in development of sensors manufacture in satellite technology. *Journal of Procedia Environmental Sciences*. Vol. 24. Pp. 308-316.
- [5] Bakar, R. A., Yahya, R. and Gan, S. N. 2016. Production of high purity amorphous silica from rice husk. *Procedia Chemistry*. Vol. 19. Pp. 189-195.
- [6] Sembiring, S. and Karo-Karo, P. 2007. Pengaruh suhu kalsinasi terhadap karakteristik termal dan struktur mikro silika sekam padi. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 13. No. 3. Pp. 233-239.
- [7] Suka, I. G., Wasinton, S., Simon, S. and Evi, T. 2008. Karakterisasi silika sekam padi dari Provinsi Lampung yang diperoleh dengan metode ekstraksi. *Jurnal MIPA*. Vol. 37. Pp. 47-52.
- [8] Sukirman, S. 2007. *Beton Aspal Campuran Panas*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- [9] Read, J., Whiteoak, D., Hunter, R. N., and Bitumen, Shell. 2003. *The Shell Bitumen Handbook*. Thomas Telford. London
- [10] Guo, X., Mingzhi, S., Wenting, D. and Shuang, C. 2016. Performance characteristics of silane silica modified asphalt. *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 11. Pp. 1-7.
- [11] Read, J., Whiteoak, D., Hunter, R. N. and Bitumen, Shell. 2003. *The Bitumen Handbook*. Thomas Telfod. London.
- [12] Suka, E. G., Putri, I. S., Puspitasari, R., Arsela, R., Firdaus, I. and Sembiring, S. 2020. Karakterisasi Struktur Mikro dan Gugus Fungsi Komposit Silika Sekam Padi dan Aspal. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 8. No. 1. Pp. 93-100.
- [13] Iskandar, I. W. N., Setyawan, A. and Legowo, S. J. 2016. Sifat-sifat

- marshall dan resilient modulus pada thin surfacing hot mix asphalt dengan polymer modified bitumen. *Matriks Teknik Sipil*. Vol. 4. No. 2. Pp. 591-601.
- [14] Ardaniswari, W. D., Josalina, Haritsah, H., Sembiring, S. 2020. Karakteristik Termal dan Fungsionalitas Komposit Silika Sekam Padi dengan Aspal. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 8. No. 1. Pp. 101-110.
- [15] Dahliana, D., Sembiring, S and Simanjuntak, W. 2013. Pengaruh suhu sintering terhadap karakteristik fisis komposit MgO-SiO₂ berbasis silika sekam padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 1. No. 1. Pp. 49-52.