

PENGARUH NANO SiO₂ TERHADAP KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS MENGGUNAKAN MATERIAL LOKAL

Falderika^{1,*}, M Naufal Abduraup¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Komputer Indonesia
Jl. Dipati Ukur No.112-116, Lebakgede, Coblong, Kota Bandung, 40132

*Corresponding authors : faldeunikom17@gmail.com

Abstract: Permeable asphalt pavement is a paving technology that has large voids, resulting in low stability. This research utilizes a mixture of porous asphalt with Pen 60/70 asphalt and the addition of Nano SiO₂ as a filler. The study is conducted to determine the effect of adding Nano SiO₂ as a filler material on the performance of porous asphalt, using local aggregates. The performance of the mixture is measured based on the results of the Marshall test, Cantabro Loss, and Asphalt Drain Down. From the Marshall test results, the highest stability value is 691.3 kg at a mixture variation of 4% Nano SiO₂. The VIM value decreases with each variation of Nano SiO₂ addition. The Flow value increases with the addition of 2% Nano SiO₂ but decreases again at the 4% variation. Cantabro Loss increases with the addition of Nano SiO₂, while Asphalt Drain Down decreases after adding Nano SiO₂. Based on the results of the tests, it can be concluded that the addition of Nano SiO₂ affects the porous asphalt mixture, where an increase in the percentage of Nano SiO₂ can enhance the stability of the porous asphalt.

Keywords: Nano SiO₂, porous asphalt, local material, performance

Abstrak: Perkerasan aspal porus adalah teknologi perkerasan yang memiliki rongga besar, sehingga memiliki stabilitas yang rendah. Penelitian ini memanfaatkan campuran aspal porus dengan aspal Pen 60/70 serta penambahan Nano SiO₂ sebagai *filler*. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan Nano SiO₂ sebagai bahan *filler* terhadap kinerja aspal porus, menggunakan agregat lokal. Kinerja campuran diukur berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, *Cantabro Loss* dan *Asphalt Drain Down*. Dari hasil pengujian *Marshall* Nilai stabilitas tertinggi yaitu sebesar 691,3 kg pada variasi campuran 4% Nano SiO₂. Nilai VIM menurun pada setiap variasi penambahan Nano SiO₂. Nilai *Flow* meningkat pada penambahan 2% Nano SiO₂, namun menurun kembali pada variasi 4%. *Cantabro Loss* meningkat seiring dengan penambahan Nano SiO₂, sementara *Asphalt Drain Down* menurun setelah penambahan Nano SiO₂. Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa Penambahan Nano SiO₂ berpengaruh pada campuran aspal porus, di mana peningkatan jumlah persentase Nano SiO₂ mampu meningkatkan stabilitas aspal porus.

Kata kunci : Nano SiO₂, aspal porus, material lokal, kinerja

1. PENDAHULUAN

Kinerja perkerasan jalan ditentukan oleh kemampuan struktural dan fungsionalnya dalam melayani lalu lintas selama periode tertentu. Secara struktural, perkerasan jalan harus mampu menopang beban lalu lintas, sementara secara fungsional, aspek kerataan dan kekasatan permukaan berperan penting dalam keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan (Sasuwuk et al., 2019).

Namun, campuran aspal porus dengan gradasi terbuka (*open graded*) sering menghadapi masalah stabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran gradasi rapat (*dense graded*) (Ghulam, 2017).

Aspal porus memiliki keunggulan seperti rongga yang memungkinkan aliran air, mengurangi kebisingan, dan meningkatkan ketahanan terhadap selip (Oktaviani, 2021). Namun, kekurangannya terletak pada stabilitas, durabilitas yang rendah, dan risiko aging yang lebih tinggi (Falderika, 2017).

Salah satu metode untuk meningkatkan kinerja aspal porus adalah dengan menambahkan material tambahan seperti nano material, yang memiliki luas permukaan besar dan kemampuan struktural yang baik (Karina R, 2023). Nano Silika (SiO₂), yang terdiri dari silikon dan oksigen, memiliki ketahanan termal dan kemampuan

meningkatkan kekuatan lentur (Pradoto et al., 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan Nano SiO₂ sebagai *filler* pada campuran aspal porus dengan gradasi Australia menggunakan agregat dari Subang, Jawa Barat. Pengujian dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Campuran Beraspal Panas, dengan analisis kinerja menggunakan parameter *Marshall* untuk menilai stabilitas struktural campuran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan Nano SiO₂ sebagai *filler* terhadap kinerja aspal porus menggunakan agregat lokal, dengan fokus pada peningkatan kinerja struktural yang diukur melalui parameter stabilitas *Marshall*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Institut Teknologi Bandung. Material yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan Nano SiO₂ sebagai bahan tambah. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina, sedangkan Nano SiO₂ yang diperoleh dari Balai Keramik di Jl. A.Yani No.392, Kebonwaru, Kec. Batununggal, Kota Bandung, Jawa Barat. Tahap awal penelitian mencakup pengujian agregat dan aspal 60/70, sebelum dilanjutkan dengan pembuatan benda uji.

Penelitian dilakukan dengan pengujian agregat dari Subang, Jawa Barat dan campuran aspal porus yang ditambahkan Nano SiO₂ sebagai *filler*. Kemudian dilakukan menggunakan metode *Marshall* untuk menilai stabilitas, *flow* dan VIM untuk mencari nilai KAO terlebih dahulu.

Tahapan pengujian meliputi:

1. **Pemeriksaan Agregat:** Meliputi pengujian berat jenis penyerapan, Uji Abrasi, *Sand Equivalent*, Kepingihan dan Kelonjongan
2. **Pemeriksaan Bahan Aspal:** Meliputi uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, titik nyala bakar, berat jenis dan viskositas.
3. **Pengujian Marshall:** Untuk mengetahui karakteristik campuran panas, termasuk stabilitas, *flow*, dan VIM.

3. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bahan untuk pembuatan benda uji campuran bitumen harus diuji terlebih dahulu agar sesuai spesifikasi. Setelah material memenuhi syarat,

dilakukan perencanaan *mix design* berdasarkan analisis saringan agregat sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Rev 2.

Karakteristik agregat dan aspal

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian	Metode Uji	Hasil Uji Agregat
AGREGAT KASAR		
Penyerapan (%)		2,41
a. Berat jenis bulk	SNI 03-1969-2016	2,630
b. Berat jenis SSD		2,704
c. Berat jenis semu		2,710
Abrasi dengan Mesin Los Angeles (%)	AASHTO T 96-02 (2015)	19,28
Partikel pipih, (%)	ASTM D-4791	14,68
Partikel lonjong, (%)		29,89
AGREGAT HALUS		
Penyerapan (%)		2,02
a. Berat jenis bulk	SNI 1970-2008	2,73
b. Berat jenis SSD		2,81
c. Berat jenis semu		2,78
<i>Sand Equivalent</i> (%)	SNI 03-4428-1997	88,24
Kadar Lumpur	SNI 03-4428-1997	11,76

Tabel 2. Hasil Pengujian Aspal

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Laboratorium	Satuan
Penetrasi	SNI 2456:2011	66.25	Dmm
Titik Lembek	SNI 2434:2011	51	°C

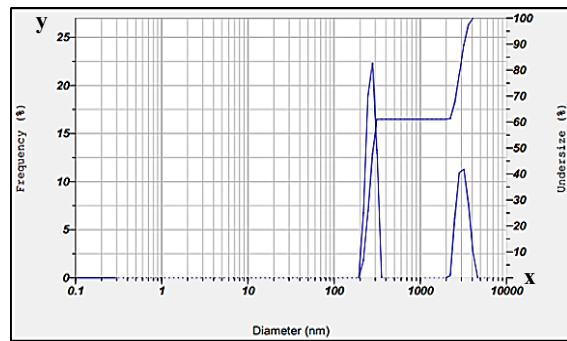
	SNI		
Daktilitas	2432:2011	1200	Mm
	SNI		
Titik Nyala	2433:2011	334	°C
	SNI		
Titik Bakar	2433:2011	339	°C
	SNI 06-2011		
Berat Jenis	2441-	1.08	%
	SNI 06-2002		
Viskositas (Suhu Pemadatan)	6721-	145	°C
	SNI 06-2002		
Viskositas (Suhu Pencampuran)	6721-	155	°C
	2002		

Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memiliki karakteristik yang baik untuk perkerasan jalan. Nilai berat jenis curah kering oven menunjukkan densitas agregat yang cukup padat, dan nilai penyerapan air yang sesuai mengindikasikan kualitas agregat yang baik. Uji abrasi menunjukkan bahwa agregat memiliki ketahanan yang baik terhadap keausan, dengan nilai abrasi sebesar 19,28%, yang sesuai dengan standar ASTM dan AASHTO, sehingga layak digunakan pada perkerasan jalan dengan beban lalu lintas tinggi.

Kelongsongan agregat sebesar 29,89% dan kepipihan 14,68% masih berada dalam batas toleransi, meskipun partikel lonjong dan pipih dapat mengurangi stabilitas campuran. Pengujian *Sand Equivalent* (SE) menghasilkan nilai 88,24%, menunjukkan kualitas agregat yang baik dengan kandungan lumpur hanya 11,76%.

Aspal yang diuji menunjukkan karakteristik yang sesuai dengan standar SNI 2456:2011, dengan penetrasi 66,25 dmm dan titik lembek rata-rata 51°C, yang berada dalam rentang ideal untuk aplikasi perkerasan jalan. Uji daktilitas menunjukkan bahwa aspal memiliki daktilitas maksimum >100 cm. Titik nyala dan titik bakar aspal masing-masing tercatat pada 334°C dan 339°C, menunjukkan kestabilan termal yang baik. Berat jenis aspal sebesar 1,086 g/cm³ juga sesuai dengan spesifikasi, dan viskositas sebesar 330 CST memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 Rev 2.

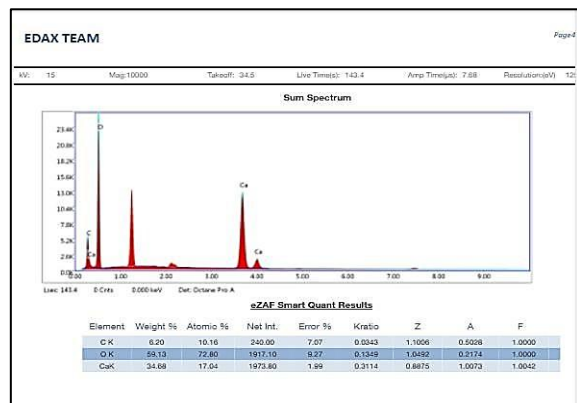
Pengujian Nano SiO₂



Gambar 1. Hasil pengujian PSA Nano SiO₂

Gambar 1 menunjukkan dua rentang ukuran partikel nano SiO₂, dengan rata-rata 354,4 nm dan 2942,8 nm, menghasilkan ukuran rata-rata keseluruhan 699,9 nm. Sebanyak 61% partikel berukuran 254,4 nm dan 39% berukuran 2942,8 nm. Mayoritas partikel berada dalam kisaran 254-258 nm dengan standar deviasi 28,5 nm, sedangkan partikel di rentang 2942-2964 nm memiliki standar deviasi 422,4 nm, menunjukkan variasi yang lebih besar.

Pengujian SEM-EDS Nano SiO₂



Gambar 2. Pengujian SEM-EDS

Pengujian SEM-EDS pada Nano SiO₂ dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan dan komposisi elemen sampel pada skala nano. SEM menganalisis struktur partikel, sementara EDS mengidentifikasi elemen kimia seperti silikon (Si) dan oksigen (O). Hasil ini memberikan informasi tentang distribusi partikel dan komposisi material (Falderika, 2024).

Rekapitulasi penentuan kadar aspal optimum

Tabel.3 Rekapitulasi KAO

Variasi Campuran Nano SiO ₂	KAO
0%	5,94%
2%	6,03%
4%	5,96%

Setelah melakukan pengujian *Marshall* dengan mengacu pada parameter *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) untuk menentukan nilai KAO dengan rumus yang mengacu *The Asphalt Institute* (1983) pada variasi campuran aspal Pen 60/70 kontrol, diperoleh hasil sebesar 5,94%, pada variasi penambahan Nano SiO₂ 2%, diperoleh hasil sebesar 6,03%, dan pada variasi penambahan Nano SiO₂ 4%, diperoleh hasil sebesar 5,96%.

Marshall test KAO

Setelah memperoleh nilai KAO untuk setiap persentase Nano SiO₂, dilakukan pengujian *Marshall* kembali dengan 3 sampel pada tiap persentase. Benda uji dibuat berdasarkan asumsi lalu lintas sedang di Indonesia, menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan 2x50 tumbukan per sampel. Pengujian dilakukan sesuai dengan parameter *Marshall* yang memenuhi standar *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA).

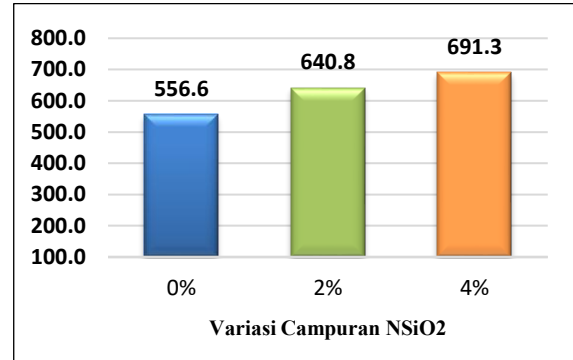
Analisis rekapitulasi marshall (KAO)

Kadar Aspal	Variasi Campuran Aspal Porus	Parameter Pengujian				
		Stabilitas (kg)	VIM (%)	Flow (mm)	Cantabro Loss	Asphalt Drain Down
5,94%	Aspal Pen 60/70	556,6	19,015	4,05	2,03	0,27
6,03%	Aspal 60/70 + Nano SiO ₂ (2%)	640,8	18,615	4,91	3,42	0,19
5,96%	Aspal Pen 60/70 + Nano SiO ₂ (4%)	691,3	18,381	4,45	3,86	0,19
Spesifikasi		>500	18-25	>2-6	35	0,3

Berdasarkan Tabel 4, campuran aspal porus mengalami peningkatan stabilitas signifikan dengan penambahan 2% dan 4% Nano SiO₂. Nilai VIM menurun pada setiap variasi, sementara nilai *Flow* meningkat pada 2% Nano SiO₂ namun menurun kembali pada 4%. *Cantabro Loss*

meningkat seiring penambahan Nano SiO₂, dan *Asphalt Drain Down* menurun setelah penggunaan Nano SiO₂.

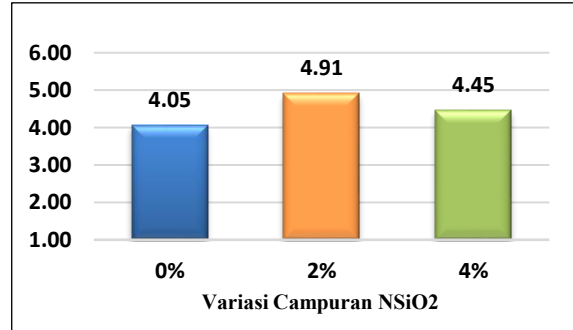
Analisa rekapitulasi nilai stabilitas



Gambar 3. Rekapitulasi Nilai Stabilitas

Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan 2% dan 4% Nano SiO₂ meningkatkan ketahanan campuran aspal porus. Berdasarkan Gambar.3, nilai stabilitas meningkat dari 640,8 Kg pada 2% Nano SiO₂ hingga 691,3 Kg pada 4%, menunjukkan peningkatan stabilitas campuran aspal porus setelah pengujian *Marshall*.

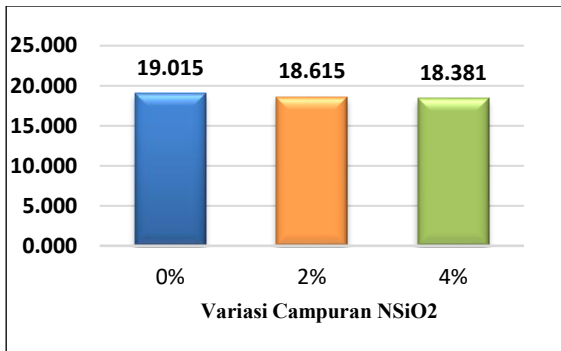
Analisa rekapitulasi nilai flow



Gambar 4. Rekapitulasi Nilai Flow

Flow mengukur fleksibilitas campuran aspal dalam menyesuaikan deformasi akibat beban lalu lintas. Berdasarkan Gambar 4, penambahan 2% Nano SiO₂ meningkatkan nilai *Flow* menjadi 4,91%, sedangkan pada 4% nilai *Flow* menurun menjadi 4,45% akibat peningkatan kekakuan campuran. Meskipun demikian, kedua variasi masih memenuhi spesifikasi aspal porus Australia dengan rentang *Flow* 2-6 mm.

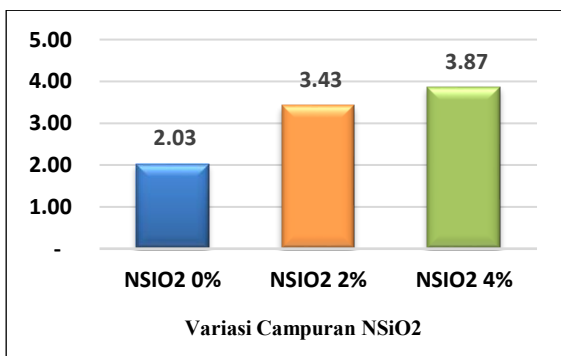
Analisis rekapitulasi nilai VIM



Gambar 5. Rekapitulasi Nilai VIM

Void in Mixture (VIM) adalah persentase rongga udara dalam campuran yang berperan dalam daya tahan dan kekuatan campuran aspal. Berdasarkan Gambar 5, semakin tinggi penambahan Nano SiO₂, nilai VIM cenderung menurun karena lebih banyak aspal mengisi rongga. Penambahan 2% Nano SiO₂ menurunkan VIM dari 19,015% menjadi 18,615%, dan 4% Nano SiO₂ menurunkan VIM menjadi 18,381%, masih dalam spesifikasi Australia (18-25%). Hal ini menunjukkan penurunan rongga udara yang optimal dengan penambahan Nano SiO₂.

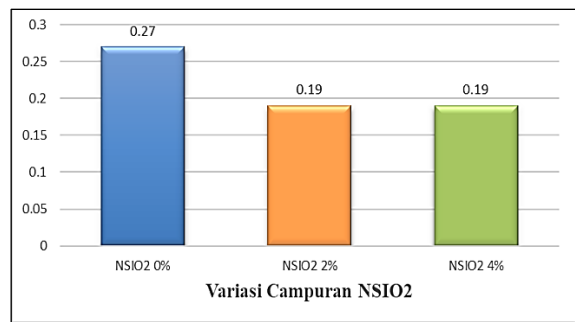
Analisis rekapitulasi nilai cantabro loss



Gambar 6. Pengujian *Asphalt Cantabro Loss*

Cantabro loss terendah ditemukan pada variasi tanpa Nano SiO₂ (0%) sebesar 2,03%, dengan kenaikan pada penambahan 2% dan 4% Nano SiO₂ masing-masing menjadi 3,43% dan 3,87%. Peningkatan ini disebabkan oleh kekakuan campuran akibat Nano SiO₂, yang menyebabkan pelepasan agregat saat diuji. Meskipun nilai *cantabro loss* meningkat, hasilnya masih memenuhi spesifikasi aspal porus Australia.

Analisis rekapitulasi nilai asphalt drain down



Gambar 7. Rekapitulasi pengujian *Asphalt Drain Down*

Gambar 7 menunjukkan penurunan persentase pelepasan aspal seiring dengan penambahan Nano SiO₂. Semua variasi campuran (0%, 2%, 4%) memenuhi standar AAPA dengan persentase pelepasan di bawah 0,30%. Penambahan Nano SiO₂ membantu menurunkan nilai ADD dan memperkuat ikatan aspal porus.

4. KESIMPULAN

Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan Nano SiO₂ meningkatkan stabilitas campuran aspal porus, dengan nilai stabilitas mencapai 640,8 Kg pada 2% dan tertinggi 691,3 Kg pada 4%. Namun, nilai VIM menurun seiring peningkatan Nano SiO₂, dari 18,615% pada 2% menjadi 18,381% pada 4%. Pengujian *Cantabro Loss* menunjukkan peningkatan pelepasan agregat pada 2% dan 4% Nano SiO₂, masing-masing 3,43% dan 3,87%, namun masih sesuai spesifikasi Australia. Uji *Asphalt Flow Down* menunjukkan penurunan nilai ADD seiring penambahan Nano SiO₂.

1. Penambahan persentase Nano SiO₂ berpengaruh pada campuran aspal porus, di mana peningkatan jumlah Nano SiO₂ mampu meningkatkan kinerja struktural yaitu stabilitas campuran.
2. Penggunaan agregat lokal dalam campuran aspal porus dengan penambahan Nano SiO₂ menunjukkan hasil yang cukup baik, di mana agregat lokal mampu berfungsi dengan baik dalam campuran dan memenuhi standar yang ditetapkan.
3. Persentase optimum dari penambahan Nano SiO₂ pada campuran aspal porus tercapai pada persentase 4% Nano SiO₂ yang menghasilkan nilai stabilitas sebesar 691,30 Kg.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdelaleemabou, A., Mohamed, M., & Mostafa, M. (2016). *Application of Nanotechnology to improve the performance of asphalt materials*. 22–26.
- Al-Akhshar, A. M., Masri, K. A., Ramadhansyah, P. J., Norhidayah, A. H., Mohd Warid, M. N., & Yaacob, H. (2021). *Resilient modulus prediction of nano-silica modified porous asphalt using Finite Element Analysis*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 682(1).
- Alizadeh, S., Shafabakhsh, G., & Sadeghnejad, M. (2023). *Sustainable asphalt mixtures: enhancing environmental impact by partial fine aggregate substitution with rubber powder and bitumen modification using Nano-SiO₂*. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(2).
- Ayun, Q., & Prastyanto, A. (2021). *Analisis Pengaruh Variasi Gradasi Aspal Porus Terhadap Parameter Marshall dan Permeabilitas*. In *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil* (Vol. 19, Issue 1).
- Falderika. (2017.). *Evaluasi Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Campuran Aspal Porus Pen 60/70 dengan Bahan Tambah Buton Natural Asphalt (BNA) Evaluation of Resilien Modulus and Permanent Deformation of Mixture Porus Asphalt Pen 60/70 and Buton Natural Asphalt (BNA)*.
- Falderika (2024). *Evaluasi Kinerja Struktural Dan Fungsional Campuran Porus Asphalt Dengan Bahan Tambah Buton Granular Asphalt (BGA) Serta Material Nano SiO₂ Dan CaCO₃*
- Fatha Abdillah, A., Pradani, N., & Fredi Batti, J. (2018). *Pada Campuran Stone Matrix Asphalt Terhadap Titik Lembek Aspal Dan Sifat Drain Down Campuran* (Vol. 4, Issue 1).
- Ghulam, M., Nariswari, W., Ariyanto, E., Gunawan, T., Banyuwangi, N., Raya Jember, J., 13, K. M., & Banyuwangi, K. (n.d.). *Nilai Stabilitas Porous Asphalt Menggunakan Material Lokal Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi 2 Mahasiswa Diploma III Politeknik*.
- Hadiwisastra, S. (2009). *Tinjauan Kondisi Aspal Alam dalam Cekungan Buton* (Issue 1). *Highway Materials Research Laboratory-1942-1962*. (n.d.).
- Masri, K. A., Awang, H., Jaya, R. P., Ali, M. I., Ramli, N. I., & Arshad, A. K. (2019). *Moisture susceptibility of porous asphalt mixture with Nano silica modified asphalt binder*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 244(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/244/1/012028>
- Nashir, M. (n.d.). *Seminar Nasional III Teknik Sipil 2013 Universitas Muhammadiyah Surakarta Studi Eksperimental Campuran Aspal Berpori Menggunakan Aspal Polimer Modifikasi (Polymer Modified Binder) Dengan Stabilisasi Serat Polypropylene*
- Oktaviani, T. (2021). *Koefesien Permeabilitas Campuran Aspal Porus Akibat Penambahan Gilsonite* (Vol. 02, Issue 01).
- Pradoto, R., Puri, E., Hadinata, T., Rahman, Q. D., & Az-zuchruf, R. M. (2019). *Improving Strength of Porous Asphalt: A Nano Material Experimental Approach*. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 15(2), 75.
- Sari, K., Umana, M., Nawang Nonima, M., & Parmin Lumban Toruan, dan. (2021). *Efek Waktu Milling Silika Abu Sekam Padi sebagai Filler Aspal Pen 60/70 terhadap Sifat Fisis dan Sifat Termal*. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 16, Issue 3).
- Sasuwuk, G. K. G., Waani, J. E., & Rumayar, A. L. E. (2019). *Analisa Kinerja Perkerasan Jalan Ditinjau Dari Besarnya Volume Kumulatif Lalu Lintas Dan Faktor Lingkungan Studi Kasus: Ruas Jalan Worang Bypass-Minahasa Utara*. *Jurnal Sipil Statik*, 7(1), 93–102.
- Sembung, N. T., Sendow, T. K., Palenewen, S., Teknik, F., Sipil, J., Sam, U., & Manado, R. (n.d.). *Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon*. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3), 345–352.
- Shuri, M. (n.d.). *Karakteristik Aspal Sebagai Bahan Pengikat Yang Ditambahkan Styrofoam Abstract*.
- Studi, P., & Sipil, T. (2018). *Pengujian Karakteristik Aspal Keras*.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*.
- Tanzadeh, J., & Shahrezagamasaei, R. (2017). *Laboratory Assessment of Hybrid Fiber and Nano-silica on Reinforced Porous Asphalt Mixtures*. *Construction and Building Materials*, 144, 260–270.
- Teknologi, J., Azman Masri, K., Kamil Arshad, A., & Saifullah Samsudin, M. (2016). *Mechanical Properties Of Porous Asphalt With Nanosilica Modified Binder* (Vol. 78)