

Analisis Pengaruh Suhu terhadap Nilai Modulus Elastisitas Lapis AC-WC dengan Pengujian ITSM

Angga Zulani¹, Latif Budi Suparma^{1*}, Taqia Rahman¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: lbsuparma@ugm.ac.id

INTISARI

Modulus elastisitas merupakan salah satu parameter utama dalam menilai kinerja campuran aspal dalam konstruksi perkerasan jalan. Studi ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu terhadap nilai modulus elastisitas pada lapisan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan gradasi *Federal Aviation Administration* (FAA) menggunakan metode *Indirect Tensile Stiffness Modulus* (ITSM). Variasi suhu uji digunakan untuk mensimulasikan kondisi lingkungan yang beragam untuk memahami bagaimana perubahan suhu dapat memengaruhi kekakuan campuran aspal. Berdasarkan hasil pengujian *Indirect Tensile Stiffness Modulus* di laboratorium menunjukkan bahwa hasil pengujian pada suhu 20°C menghasilkan nilai modulus kekakuan sebesar 3779 MPa, pada suhu 30°C menghasilkan nilai modulus kekakuan sebesar 823 Mpa, pada suhu 40°C menghasilkan nilai modulus kekakuan sebesar 556 MPa dan pada suhu 50°C menghasilkan nilai modulus kekakuan sebesar 366 MPa. Penambahan temperatur dari 20°C ke 50°C menurunkan modulus kekakuan sebesar 90%.

Kata kunci: perkerasan lentur, *federal aviation administration*, modulus elastisitas, suhu, bandar udara

1 PENDAHULUAN

Salah satu jenis perkerasan yang umum digunakan di Indonesia adalah *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), yang berfungsi sebagai lapisan permukaan pada struktur perkerasan fleksibel. Lapisan ini harus memiliki karakteristik mekanis yang baik, termasuk daya tahan terhadap deformasi, ketahanan terhadap beban lalu lintas, serta kemampuan beradaptasi terhadap kondisi lingkungan. Di antara berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja perkerasan aspal, suhu lingkungan merupakan salah satu variabel yang sangat berpengaruh, terutama di negara tropis seperti Indonesia yang memiliki suhu tinggi sepanjang tahun dengan variasi termal yang cukup signifikan.

Indonesia memiliki iklim tropis dengan suhu yang berkisar antara 25°C hingga 60°C di daerah dataran rendah, dan dapat lebih tinggi di wilayah perkotaan akibat fenomena *urban heat island* (UHI). Selain itu, terdapat perbedaan suhu antara siang dan malam yang dapat mencapai lebih dari 10°C di beberapa daerah. Kondisi ini menyebabkan lapisan perkerasan mengalami ekspansi dan kontraksi secara berulang yang dapat mempengaruhi modulus elastisitas aspal serta meningkatkan risiko *fatigue cracking* (retak lelah) dan *permanent deformation* (deformasi permanen) seperti rutting. Secara umum, semakin tinggi suhu lingkungan, semakin rendah modulus elastisitas campuran aspal. Hal ini disebabkan oleh sifat viskoelastis aspal yang cenderung melembut pada suhu tinggi dan mengeras pada suhu rendah. Dalam kondisi suhu ekstrem, aspal dapat kehilangan kekakuannya, menyebabkan stabilitas struktural jalan menurun, yang pada akhirnya berkontribusi pada percepatan kerusakan perkerasan.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, penelitian terkait modulus elastisitas campuran aspal dalam berbagai kondisi suhu menjadi sangat penting. Salah satu metode yang digunakan untuk mengukur kekakuan campuran aspal adalah *Indirect Tensile Stiffness Modulus* (ITSM), yang mampu memberikan gambaran tentang respon mekanis material terhadap perubahan suhu. Dengan memahami bagaimana suhu mempengaruhi modulus elastisitas, perancang jalan dapat mengoptimalkan desain campuran aspal yang lebih tahan terhadap kondisi iklim di Indonesia. Selain itu, penerapan gradasi *Federal Aviation Administration* (FAA) dalam campuran AC-WC perlu dikaji lebih lanjut. Gradasi FAA sering digunakan dalam konstruksi perkerasan bandara karena memiliki distribusi agregat yang lebih baik, yang berpotensi meningkatkan ketahanan terhadap deformasi. Oleh karena itu, analisis terhadap kinerja AC-WC dengan gradasi FAA dalam berbagai suhu sangat relevan untuk menentukan apakah formulasi ini dapat meningkatkan kualitas perkerasan jalan di Indonesia.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian terkait pengaruh suhu terhadap nilai modulus elastisitas lapis AC-WC gradasi FAA dengan pengujian ITSM dapat dilihat sebagai berikut pengumpulan data, pengujian bahan, pembuatan benda uji, analisis data modulus elastisitas.

2.1 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan meliputi agregat terpilih dan aspal terpilih yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi bina marga. Aspal yang digunakan adalah aspal Cariphalte PG 76 yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi.

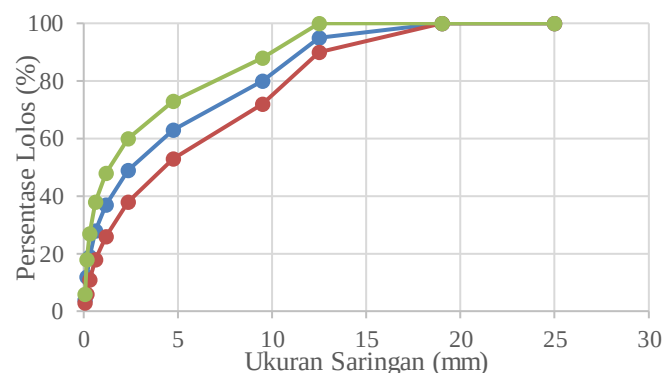
Pengujian material yang dilaksanakan pada penelitian ini meliputi pemeriksaan terhadap agregat kasar, agregat buatan, *filler*, dan aspal Cariphalte PG 76. Dalam pemilihan bahan, agregat telah sesuai dengan spesifikasi Bina Marga.

2.2 Perancangan Benda Uji

Perancangan benda uji meliputi penentuan gradasi agregat target (Tabel 1 dan Gambar 1), penentuan variasi kadar aspal, dan perancangan campuran untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO). Pengujian lanjut dilakukan pada kadar aspal optimum. Benda uji untuk pengujian lanjut disiapkan untuk pengujian nilai modulus elastisitas yang dilakukan pada suhu pengujian 20°C, 30°C, 40°C, dan 50°C.

Tabel 1. Gradasi agregat rencana campuran benda uji AC-WC

Ukuran Ayakan (mm)	AC-WC		
	Gradasi Bawah (%)	Gradasi Target (%)	Gradasi Atas (%)
25	100	100	100
19	100	100	100
12,5	90	95	100
9,5	72	80	88
4,75	53	63	73
2,36	38	49	60
1,18	26	37	48
0,6	18	28	38
0,3	11	19	27
0,15	6	12	18
0,075	3	4	6
Pan			



Gambar 1. Gradasi agregat rencana campuran benda uji AC-WC.

Variasi kadar aspal yang digunakan dalam penentuan KAO didasarkan pada FAA 150/5370-10H dan dalam penelitian ini ditentukan sebesar : 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0%, dan 7,5%.

Perancangan campuran dilakukan menggunakan metode Marshall berdasarkan spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

2.3 Pengujian *Indirect Tensile Stiffness Modulus* (ITSM)

Pengujian modulus kekakuan tarik tidak langsung adalah parameter penting yang diukur menggunakan prosedur standar ASTM D4123-82/AASHTO TP31 pada suhu 20°C, 30°C, 40°C, 50°C. ITSM dihitung berdasarkan beban vertikal puncak yang diberikan dan deformasi horizontal pada sampel silinder dengan diameter nominal 150 mm. Pada pengujian ini, sampel diuji dengan peningkatan beban bertahap hingga mencapai deformasi horizontal sebesar 50 mikrostrain sesuai standar. Untuk menjaga dan mencegah kerusakan akibat pemuatan berulang, spesimen diputar sekitar 30° setelah setiap siklus beban dinamis. Pengujian dilakukan dengan memperhatikan periode beban, diatur agar waktu kenaikan beban dari nol ke puncak maksimum pada 124 ± 4 ms, dan siklus beban selama 3 detik. Puncak beban disesuaikan agar menghasilkan deformasi horizontal puncak sebesar 0,005% dari diameter sampel. Seluruh prosedur pengujian dilakukan berulang pada sampel setelah rotasi sampel $90^\circ \pm 10^\circ$ pada sumbu horizontal untuk mendapatkan nilai kekakuan yang valid dan representatif. Metode ini merupakan metode non-destruktif yang dapat digunakan untuk mengukur kekakuan tarik campuran material secara efektif. Modulus kekakuan tarik tidak langsung juga dapat didefinisikan sebagai berikut dalam satuan Mpa:

$$S_m = \frac{L(v+0,27)}{Dt} \quad (1)$$

Dimana L adalah nilai puncak beban vertikal yang diberikan (N), D adalah amplitudo rata-rata deformasi horizontal yang diperoleh dari dua atau lebih penerapan pulsa beban (mm), t adalah ketebalan rata-rata spesimen uji (mm) dan v adalah rasio poisson (nilai 0,35).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan Aspal

Dalam penelitian menggunakan agregat yang berasal dari Clereng, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta dan aspal yang digunakan aspal Cariphalte PG 76. Hasil pengujian karakteristik agregat dan aspal semua standar yang disyaratkan sudah terpenuhi tercantum pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik agregat

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Metode Uji	Nilai Spek
a.	Abrasi dengan Mesin Los Angeles (500 putaran)	20,2%	SNI 2417:2008	Maks. 40%
b.	Butiran agregat pipih dan lonjong	5,0%	SNI 8287:2016	Maks. 10%
c.	Persentase butir pecah pada agregat kasar	95/90	SNI 7619:2012	95/90*)
d.	Kelekatan agregat terhadap aspal	>95%	SNI 2439:2011	Min. 95%

Tabel 3. Hasil pengujian karakteristik aspal

No	Jenis Pengujian	Hasil	Metode	Nilai Spek.
a	Viskositas 135 ° C	2,60 Pa.s	SNI 7729-2011	Maks. 3,00
b	Viskositas 170 C	0,51 Pa.s	SNI 7729-2011	Maks. 0,80
c	Penetrasi pada 25 ° C	50 mm	SNI 06-2456-2011	40-70
d	Titik lembek	78 C	SNI 06-2434-2011	Dilaporkan

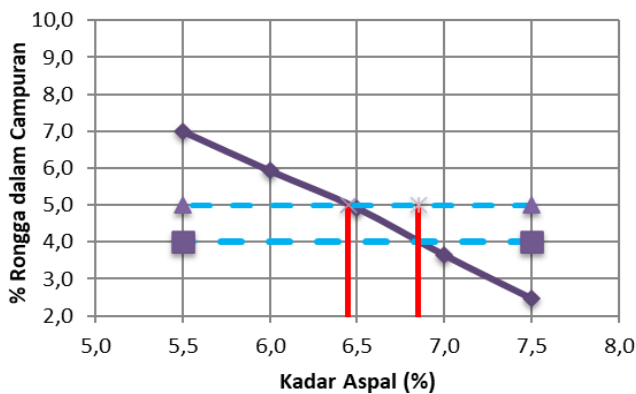
3.2 Hasil Pengujian Marshall

Pengujian Marshall untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) dilakukan setelah didapatkan hasil pemeriksaan propertis terhadap bahan susun campuran, pengujian marshall dilakukan pada 5 variasi kadar aspal. Hasil pengujian Marshall menunjukkan sifat-sifat campuran seperti Kepadatan (*Density*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VITM (*Void in The Mix*), VFWA (*Void Filled With Asphalt*), Stabilitas Marshall, Kelelahan (*Flow*) dan MQ (*Marshall Quotient*) yang secara ringkas tercantum pada Tabel 4.

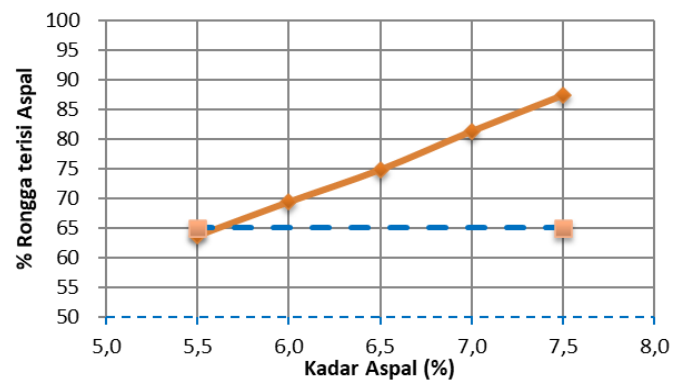
Tabel 4. Hasil pengujian Marshall

Kriteria	Spesifikasi	Satuan	Kadar Aspal (%)				
			5,5	6	6,5	7	7,5
VMA	≥ 15	%	18,3	18,4	18,5	18,5	18,5
VITM	4-5	%	7,0	5,9	4,9	3,6	2,4
VFWA	65	%	63,6	69,3	74,8	81,3	87,3
Stabilitas	> 600	kg	1.932	1.889	1.951	1.854	1.677
Flow	2 – 4,5	mm	3,2	3,3	3,6	3,6	3,9

Berdasarkan hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 3, pada semua kadar aspal nilai-nilai VMA, stabilitas, dan *flow* telah memenuhi spesifikasi, sehingga untuk penentuan nilai kadar aspal optimum dengan metode *narrow range* didasarkan pada nilai-nilai VITM dan VFWA. Grafik nilai VITM dan VFWA pada setiap kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Perbandingan rongga dalam campuran terhadap kadar aspal (VITM)



Gambar 3. Perbandingan rongga terisi aspal terhadap kadar aspal (VFWA)

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai VITM mengalami penurunan. Penurunan nilai VITM tersebut disebabkan karena pada saat bertambahnya kadar aspal, maka rongga-rongga dalam campuran akan terisi oleh aspal yang selanjutnya akan memperkecil rongga udara, sehingga campuran menjadi semakin rapat dan nilai VITM menjadi semakin kecil.

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal maka nilai VFWA juga mengalami peningkatan. Meningkatnya nilai VFWA tersebut disebabkan karena dengan bertambahnya kadar aspal pada suatu campuran mengakibatkan semakin banyak aspal yang menyelimuti butiran agregat dan mengisi rongga udara dalam campuran tersebut sehingga butiran semakin rapat.

Hasil penentuan KAO dengan metode *narrow range* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. *Narrow Range* KAO pada campuran perkerasan lentur

No	Kriteria	Spesifikasi Umum		Kadar Aspal (%)				
		Min	Max	5,5	6	6,5	7	7,5
1	VFWA	65	-					
2	VITM	4	5					
Range Kadar Aspal (%)						6,45	6,85	
Kadar Aspal Optimum (%)						6,65		

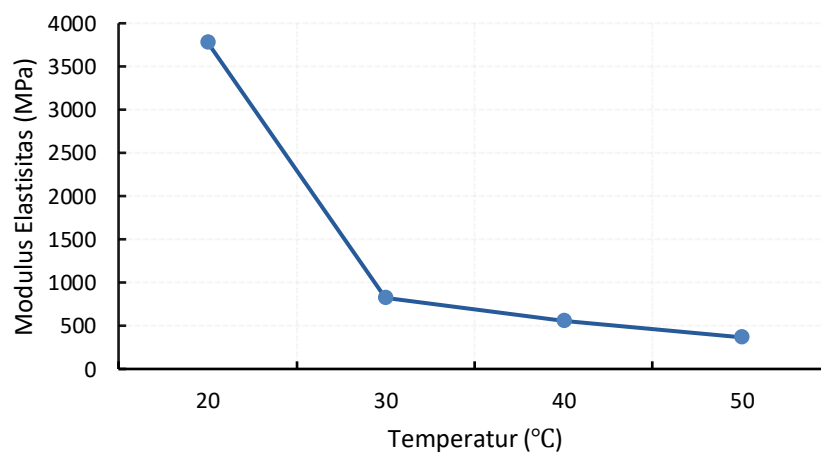
Berdasarkan Tabel 5, diperoleh *range* kadar aspal optimum sebesar 6,45% sampai 6,85%. Dalam penelitian ini selanjutnya kadar aspal optimum sebesar 6,65%.

3.2 Hasil pengujian ITSM

Pengujian ITSM dilakukan pada kondisi KAO dan dilakukan di Laboratorium Balai Bahan Jalan, Ditjen Bina Marga, Kementerian PUPR. Hasil pengujian ITSM disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 5, untuk dokumentasi pengujian disajikan pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 9.

Tabel 6. Hasil pengujian ITSM

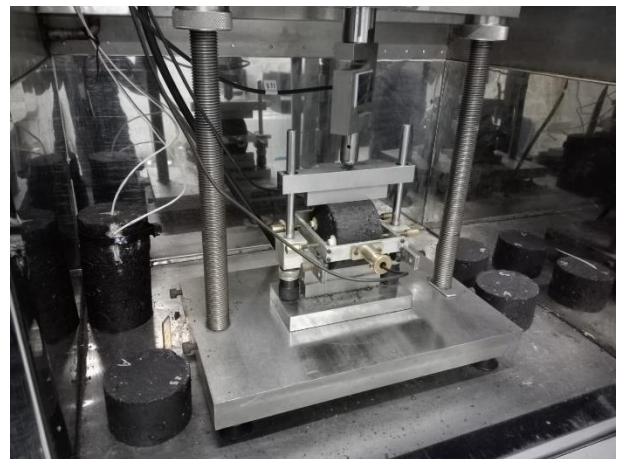
Suhu Pengujian	Nilai Modulus Elastisitas
20	3779
30	823
40	556
50	366



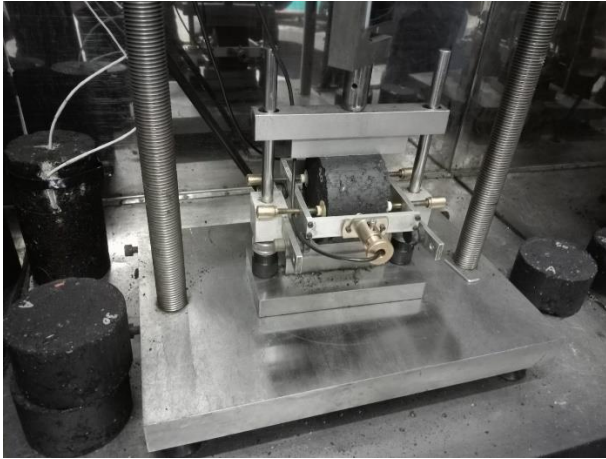
Gambar 5. Hasil pengujian ITSM.



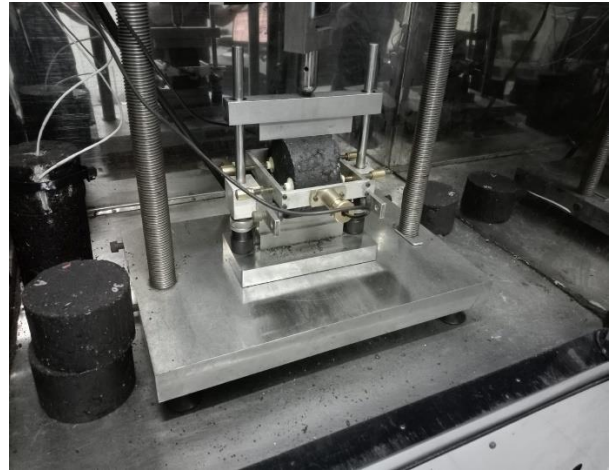
Gambar 6. Pengujian pada suhu 20°C.



Gambar 7. Pengujian pada suhu 30°C.



Gambar 8. Pengujian pada suhu 40°C.



Gambar 9. Pengujian pada suhu 50°C.

Berdasarkan hasil pengujian *Indirect Tensile Stiffness Modulus* diperoleh hasil bahwa perubahan suhu menurunkan modulus kekakuan sebesar 90%. Semakin tinggi suhu perkerasan maka nilai modulus kekakuan campuran semakin kecil. Penurunan ini terjadi karena pada suhu tinggi, sifat *viscoelastic* aspal menyebabkan campuran menjadi lebih lunak, sehingga kekakuan material berkurang. Akibatnya, campuran perkerasan lebih mudah mengalami deformasi saat diberikan beban. Hal ini menunjukkan bahwa suhu berperan penting dalam memengaruhi kekuatan dan ketahanan perkerasan, sehingga harus diperhatikan dalam perancangan jalan agar material tetap tahan lama meskipun menghadapi suhu tinggi.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian *Indirect Tensile Stiffness Modulus* terhadap sampel perkerasan yang diuji di laboratorium, terdapat pengaruh yang signifikan dari perubahan suhu terhadap nilai modulus elastisitas perkerasan. Data menunjukkan bahwa pada suhu pengujian 20°C, nilai modulus elastisitas mencapai angka tertinggi yaitu sebesar 3779, yang menggambarkan kondisi perkerasan yang sangat kaku. Namun, seiring dengan peningkatan suhu pengujian menjadi 30°C, nilai modulus elastisitas menurun drastis menjadi 823, menunjukkan bahwa perkerasan mulai mengalami pelunakan dan kekakuannya berkurang secara signifikan. Penurunan ini berlanjut pada suhu yang lebih tinggi, yaitu pada 40°C nilai modulus elastisitas menjadi 556, dan pada 50°C hanya mencapai 366. Penurunan nilai modulus elastisitas ini mencerminkan perubahan sifat material perkerasan akibat variasi suhu, di mana aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan menjadi lebih lunak pada suhu tinggi sehingga daya tahan terhadap deformasi menurun.

REFERENSI

- Bodin, D., Terrier, J.-P., Perroteau, C., Hornych, P., Marsac, P., (2009). "Effect of temperature on fatigue performances of asphalt mixes".
- Kaloush, K.E., Witczak, M.W., Sotil, A.C., Way, G.B., (2003). "Laboratory evaluation of asphalt rubber mixtures using the dynamic modulus test", dalam: 82th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC.
- Kumara, A.A.B.A., Arifin, S., Bahar, T., (2023). "The Effect Of The Elasticity Modulus Of Asphalted Surfaces On Rutting Depth On Narrow Cracking Conditions", dalam: Berkala Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi. hlm. 150–158.
- Kumlai, S., Jitsangiam, P., Pichayapan, P., (2017). "The implications of increasing temperature due to climate change for asphalt concrete performance and pavement design". *KSCCE Journal of Civil Engineering* 21, 1222–1234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12205-016-1080-6>
- Li, N., Zhan, H., Yu, X., Tang, W., Yu, H., Dong, F., (2021). "Research on the high temperature performance of asphalt pavement based on field cores with different rutting development levels". *Mater Struct* 54. <https://doi.org/10.1617/s11527-021-01672-3>.

Li, Y., Liu, L., Xiao, F., Sun, L., (2017). “Effective temperature for predicting permanent deformation of asphalt pavement”. *Constr Build Mater* 156, 871–879.

Mukhlis, M., Lusyana, L., Suardi, E., Fitri, R., Sagita, D.C., (2022). “Perbandingan Karakteristik Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG 76”. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil* 19, 88–95.

Prasetyo, S., Hidayat, U., Haryanto, Y.D., Riama, N.F., (2021). “Variasi dan Trend Suhu Udara Permukaan di Pulau Jawa Tahun 1990-2019”. *Jurnal Geografi : Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian* 18, 60–68. <https://doi.org/10.15294/jg.v18i1.27622>.

Suardi, E., Fitri, R., Chintya Sagita, D., Teknik Sipil, J., Negeri Padang, P., (2022). “Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil Perbandingan Karakteristik Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG 76”.