

SENSITIFITAS ASPAL MODIFIKASI TERHADAP TEMPERATUR

Retno Utami¹, Asri Novia², Sarah Nurul Mahfuzah³, Ananda Amatory Zahra⁴

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : retnoutami@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : asri.novia.tpjj18@polban.ac.id

³Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : sarah.nurul.tpjj18@polban.ac.id

⁴Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : ananda.amatory.tpjj19@polban.ac.id

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara tropis di dunia yang memiliki 2 musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau yang temperaturnya cenderung sering berubah-ubah secara drastis. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian mengenai kadar optimal bahan tambah untuk aspal yang memiliki sensitivitas rendah terhadap temperatur, agar aspal tersebut keras dan tahan terhadap perubahan temperatur. Penelitian ini dilakukan menggunakan data sekunder dari pengujian Mahasiswa MTRI Polban. Data yang digunakan adalah pengujian penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi *gilsonite* dengan kadar 2,5% ; 3,5% ; 4,5% ; 5,5% ; 6,5% ; 7,5% ; 8,5% ; pengujian penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi karet SIR20 dengan kadar 0% ; 2% ; 4% ; 6% ; 7% ; 8% ; 9% ; 11% ; 13% ; serta pengujian penetrasi dan titik lembek aspal modifikasi PET dengan kadar 0% ; 3% ; 6% ; 9% ; 12%. Penentuan sensitivitas aspal dilihat dari nilai PI, dimana semakin tinggi nilai PI maka semakin rendah sensitivitasnya terhadap perubahan temperatur. Hasil penelitian menunjukkan urutan aspal modifikasi yang lebih baik digunakan yaitu dengan urutan aspal modifikasi dengan karet SIR20 – aspal modifikasi dengan *gilsonite* – aspal modifikasi dengan PET.

Kata Kunci: *aspal modifikasi, sensitivitas, temperature*

ABSTRACT

Indonesia is a tropical country in the world which only has 2 seasons, rainy and dry season where the temperature tends to change drastically. Therefore, it is necessary to do research on optimal levels of added materials for asphalt which have low sensitivity to temperature, so that the asphalt is hard and strong against temperature changes. This study uses secondary data from MTRI Polban student examiners. The data used were penetration testing and softening point of *gilsonite* modified asphalt with levels of 2,5%; 3,5%; 4,5%; 5,5%; 6,5%; 7,5%; 8,5%; penetration testing and softening point of SIR20 modified asphalt with levels of 0%; 2%; 4%; 6%; 7%; 8%; 9%; 11%; 13%; also penetration testing and softening point of PET modified asphalt with levels of 0%; 3%; 6%; 9%; 12%. Determination of asphalt sensitivity is seen from the PI value, the higher PI value, the lower sensitivity to temperature changes. The results showed that the modified asphalt was better used based on temperature sensitivity, as followed sequence, the modified asphalt sequence with SIR20 rubber - modified asphalt with *gilsonite* - modified asphalt with PET.

Keywords: *modified asphalt, sensitivity, temperature*

1. PENDAHULUAN

Negara tropis adalah negara yang hanya memiliki dua musim saja, yaitu musim penghujan dan musim kemarau, Salah satu negara tropis di dunia yaitu Indonesia. Menurut Badan Klimatologi dan Geofisika, musim penghujan terjadi pada bulan Oktober hingga Maret, sedangkan musim kemarau biasanya berlangsung pada bulan April hingga September. Indonesia memiliki karakteristik suhu rata-rata 35°C dimana masing-masing daerahnya memiliki suhu yang beragam. Perbedaan suhu setiap daerah memiliki kebutuhan yang berbeda-beda untuk kenyamanan transportasi. Untuk memenuhi kebutuhan transportasi dan meningkatkan kinerja struktur perkerasan lentur jalan sesuai dengan kondisi iklim dan beban lalu lintas di Indonesia, maka penggunaan aspal modifikasi dipilih sebagai salah satu alternatif untuk dapat menunjang hal tersebut. Sebagai alternatif untuk mencapai kenyamanan transportasi, aspal modifikasi yang digunakan harus memiliki ketahanan terhadap perubahan temperatur agar aspal modifikasi yang digunakan dapat berfungsi dengan maksimal [1]. Aspal bersifat *thermoplastic*, yaitu kemampuan untuk berubah sesuai dengan temperatur di sekitarnya. Untuk mengurangi perubahan yang ekstrem pada aspal, maka dilakukan modifikasi pada aspal yaitu dengan menambahkan bahan tambah seperti *gilsonite* dan polimer. Penambahan bahan tambah pada aspal tentu akan mengakibatkan perubahan karakteristik pada aspal tersebut. Setiap bahan tambah memiliki karakteristik yang berbeda-beda sehingga sensitivitas aspal modifikasi yang dihasilkan akan beragam. Beberapa penelitian skala laboratorium yang dilakukan program studi Magister Rekayasa Infrastruktur Politeknik Negeri Bandung menunjukkan bahwa aspal modifikasi dengan polimer memiliki nilai titik lembek dan penetrasi yang berbeda [2][3][4][5][6]. Aspal modifikasi dengan karet SIR20

merupakan modifikasi aspal dengan polimer jenis elastomer. Pemanfaatan karet SIR20 pada aspal modifikasi memiliki banyak keuntungan, yakni solusi untuk menaikkan harga karet SIR20 atau karet alam di Pasar Internasional, meningkatkan kinerja ACWC dalam mengurangi deformasi, tahan terhadap gesekan dan memiliki ikatan antar partikel atau daya rekat yang baik. Namun, pemanfaatan karet SIR20 masih kurang diminati karena waktu pencampuran karet SIR20 dengan aspal yang cukup lama karena rantai molekulnya yang masih panjang [7]. Dalam konstruksi perkerasan jalan, bahan tambah *gilsonite* dapat meningkatkan daya lekat antar agregat [2]. Aspal modifikasi dengan *Polyethylene Terephthalate* (PET) adalah modifikasi aspal dengan polimer jenis plastomer. PET ini adalah material yang sering dipakai untuk botol plastik. Dengan digunakannya PET ini menjadi bahan tambah aspal, maka hal ini termasuk daur ulang PET, juga mengurangi limbah plastic di Indonesia [8]. Berdasarkan ketiga jenis bahan polimer tersebut, belum terlihat polimer mana yang menunjukkan sensitivitas aspal modifikasi terhadap perubahan suhu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui polimer mana yang lebih cocok penggunaannya dalam konstruksi campuran beraspal yang efektif dan efisien dari segi pemilihan material modifikasi aspal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal Modifikasi

Lebih dari 15 tahun yang lalu, di luar negeri mulai diperkenalkan aspal modifikasi (Superphalt, Mexphalt, Cariphalt, Caribit, dll) dengan memiliki tujuan: mencegah keretakan di waktu musim dingin, mencegah perubahan bentuk aspal secara permanen pada beban berat di waktu musim panas, dan sangat diharapkan akan lebih awet terhadap oksidasi terik matahari. Pada tahun 1995, di Indonesia diperkenalkan aspal modifikasi oleh Shell (KRTJ di Padang), dan digelar produksi lokal di Jalan Tol Simatupang pada tahun 1996 yang berupa lapisan tipis di atas perkerasan beton semen dengan hasil yang mencapai umur lebih dari 12 tahun (selulosa+latex+aspal) [9].

2.2 Jenis Aspal Modifikasi

Dalam modifikasi aspal polimer, jenis polimer yang sering digunakan adalah polimer plastomer dan polimer elastomer [8]. Hakikatnya, fungsi plastomer adalah untuk mengubah aspal supaya menjadi lebih kuat atau kaku. Sedangkan elastomer memiliki fungsi agar aspal menjadi lebih kuat atau kaku dan agar aspal menjadi elastis. Oleh karena itu, elastomer dan plastomer kegunaannya sama-sama agar aspal memiliki kekuatan yang lebih tinggi terhadap perubahan bentuk atau *rutting*. Dan khusus untuk elastomer kegunaannya juga agar meningkatkan kelenturan aspal sehingga lebih kuat terhadap retak pada saat temperatur rendah.

2.2.1 Aspal Modifikasi Karet Alam/SIR20

Menurut Le Brass pada tahun 1968 [10] karet alam atau karet SIR20 merupakan senyawa hidrokarbon yang didapat melalui penggumpalan getah dari hasil penyadapan tanaman tertentu. Getah tersebut terkenal dengan sebutan lateks atau suatu cairan putih yang keluar dari batang tanaman yang disadap.

Aspal karet alam menurut SNI 6749: 2008 adalah aspal keras yang dimodifikasi dengan polimer jenis elastomer. Karet alam sebagai sifat elastomer, berperan sebagai modifikasi polimer yang dapat mengubah kinerja jalan aspal konvensional saat ini terhadap perubahan suhu dan beban lalu lintas. Berbagai penelitian telah dilakukan pada karet alam berdasarkan aspek kompatibilitas dan interaksi yang berbeda antara polimer dan aspal yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja material yang dimodifikasi. Dari tinjauan tersebut, karet alam yang digunakan dalam bentuk lateks pekat, *Ribbed Smoked Sheet* (RSS) dan *Liquid Natural Rubber* (LNR) menunjukkan harapan dalam memperbaiki campuran aspal [6].

2.2.2 Aspal Modifikasi PET

PET adalah poliester termoplastik linier yang digabungkan melalui TPA/*esterifikasi asam tereftalat* dan EG/*etilen glikol* atau bisa juga dengan DMT/*transesterifikasi dimetil tereftalat* dan EG. PET mempunyai kekuatan menyerap uap air yang rendah, dan juga kekuatan serap terhadap air. PET digunakan dengan sangat luas, salah satunya untuk botol air mineral, saus, kemasan sirup, selai, *soft drink*, kemasan sirup, minyak makan [11].

Hasil penelitian dari Nugrohojati pada tahun 2002 [11], dijelaskan bahwa dengan adanya PET atau plastik diyakini dapat meningkatkan kekerasan atau kekakuan suatu campuran. Di dalam penelitian tersebut, campuran dengan kadar aditif 0,3% pada kadar aspal 7,3% dan 6,8% menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi daripada campuran dengan kadar aditif 0,2% pada kadar aspal yang sama, yakni 7,3% dan 6,8%.

2.2.3 Aspal Modifikasi Gilsonite

Referensi [12] menjelaskan bahwa *gilsonite* adalah mineral hidrokarbon alami yang memiliki warna kecokelatan dan amat rapuh. *Gilsonite* memiliki komposisi kimia dengan kandungan *asphaltene* sebesar 70,9% yang termasuk kadar paling tinggi di antara bahan aditif lain, sehingga diharapkan *gilsonite* dapat memperbaiki kelekatan dengan agregat dan mengurangi *water stripping*. *Gilsonite* memiliki kemampuan untuk dapat digunakan sebagai bahan tambah atau aditif dengan tujuan meningkatkan kualitas sifat kimiawi dan fisik aspal minyak karena memiliki sifat yang sama antara aspal dan *gilsonite*.

2.3 Indeks Penetrasi

Indeks penetrasi merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui sensitivitas aspal terhadap perubahan temperatur. Nilai indeks penetrasi berbanding terbalik dengan sifat sensitivitas aspal, dimana semakin tinggi nilai indeks penetrasi, maka akan semakin rendah sifat sensitivitas aspal terhadap perubahan temperatur. Nilai indeks penetrasi ditentukan oleh keterkaitan antara nilai titik lembek aspal dan nilai penetrasi aspal. Menurut Lees G pada tahun 1982 [1] kaitan nilai PI dengan sifat aspal ditunjukkan pada Tabel 1. *Temperature susceptibility* menunjukkan bagaimana perubahan sifat aspal seiring berubahnya suhu seperti terlihat pada parameter aktivasi energi, indeks penetrasi dan *viscosity-temperature susceptibility* [13].

Tabel 1 Hubungan Antara Nilai PI dan Sifat Aspal

Nilai PI	Sifat Aspal
>2	“ <i>temperature susceptibility</i> ” rendah
+2 s/d -2	“ <i>temperature susceptibility</i> ” normal
< -2	“ <i>temperature susceptibility</i> ” tinggi

3. METODOLOGI

3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan/bagian memahami atau mendalami pengertian dari sumber atau *source* yang dapat menjadi beberapa bahan landasan teori atau studi pustaka terhadap kajian sensitivitas aspal modifikasi terhadap temperatur.

3.2 Pengumpulan Data Sekunder Nilai Titik Lembek dan Penetrasi

Data sekunder yang dikumpulkan berupa data titik lembek dan nilai penetrasi dari pengujian yang dilakukan mahasiswa MTRI di laboratorium Bahan JTS. Bahan yang digunakan oleh mahasiswa MTRI tersebut adalah aspal modifikasi dengan variasi polimer dan bahan alami. Data sekunder didapatkan dengan melakukan inventarisasi dari buku tesis MTRI dan klarifikasi langsung dengan mahasiswa MTRI yang telah melakukan pengujian di laboratorium.

3.3 Analisis Nilai Indeks Penetrasi

Bentuk dari material aspal pada temperatur ruangan adalah padat sampai semi-padat dan aspal merupakan material yang bersifat termoplastis [7]. Ketika aspal dipanaskan, terjadi penurunan ikatan fisika-kimia pada aspal yang mengakibatkan bagian-bagian rantai tunggal pada molekul aspal mudah bergerak, sehingga terjadi penurunan sifat kekentalan dan kekakuan pada aspal.

Nilai indeks penetrasi aspal (PI) menunjukkan perubahan sifat kekakuan dan kekentalan aspal yang terjadi akibat adanya perubahan temperatur [7]. Nilai PI menunjukkan ketahanan atau kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dimana semakin tinggi nilai indeks penetrasi, aspal akan semakin tahan dan kaku terhadap perubahan temperatur.

Nilai indeks penetrasi (PI) adalah fungsi dari nilai A yang didapatkan dari nilai penetrasi aspal, pen T_1 dan pen T_2 , pada temperatur yang berbeda, T_1 dan T_2 . Untuk menghitung nilai A, digunakan Persamaan (1) menurut Pfeiffer dan Van Doormall seperti di bawah ini:

$$A = \frac{\log pen T_1 - \log pen T_2}{T_1 - T_2} \tag{1}$$

Lalu untuk menghitung nilai indeks penetrasi dari dua jenis aspal yang berbeda digunakan Persamaan (2) seperti dibawah ini:

$$PI = \frac{20(1 - 25A)}{1 + 50A} \tag{2}$$

Hasil dari perhitungan PI atau Indeks Penetrasi di *input* ke dalam grafik Ms. Excel dengan nilai kadar bahan tambah sebagai absis (X) dan nilai indeks penetrasi sebagai ordinat (Y), lalu dilakukan analisis regresi linear dengan cara membuat *trendline* atau garis kecenderungan dari grafik kadar bahan tambah terhadap nilai indeks penetrasi. Dari garis itu dapat dilihat

kecenderungan data pengujian baik apa tidak dengan cara dilihat kedekatan posisi titik plot dengan garis tersebut. Bila titik plot data pengujian mendekati garis kecenderungan, itu berarti hasil pengujian dapat dikatakan baik.

Dari *trendline* tersebut dianalisis nilai koefisien determinasi atau *R Square* (R^2). Tujuan dari nilai koefisien determinasi adalah untuk memperkirakan pengaruh dari *variable X* terhadap variabel *Y*. R^2 tersebut menyatakan seberapa besar hubungan antara kedua parameter tersebut, jika jauh dari 1,0, maka hubungan tersebut lemah dan jika mendekati 1,0, maka ketergantungan kedua parameter tersebut sangat kuat.

3.4 Penarikan kesimpulan

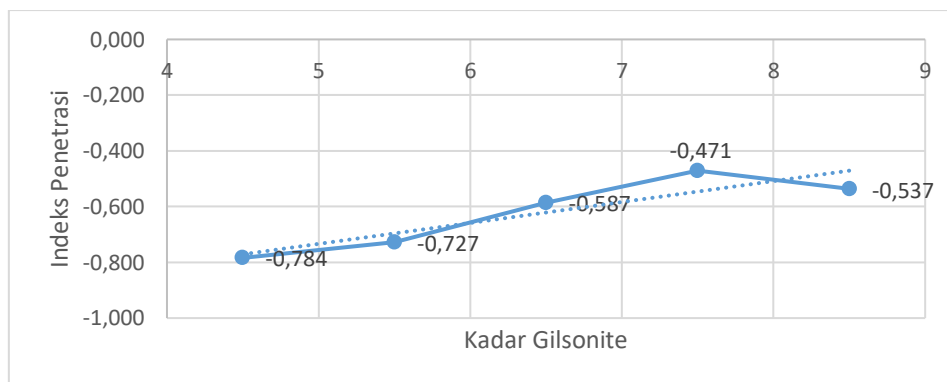
Dalam kesimpulan ini dilakukan pengambilan suatu pernyataan yang mencakup hasil dari analisis. Kesimpulan ini berisi bagaimana sensitivitas beberapa jenis aspal modifikasi terhadap perubahan temperatur dilihat dari besar nilai indeks penetrasi.

4. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan

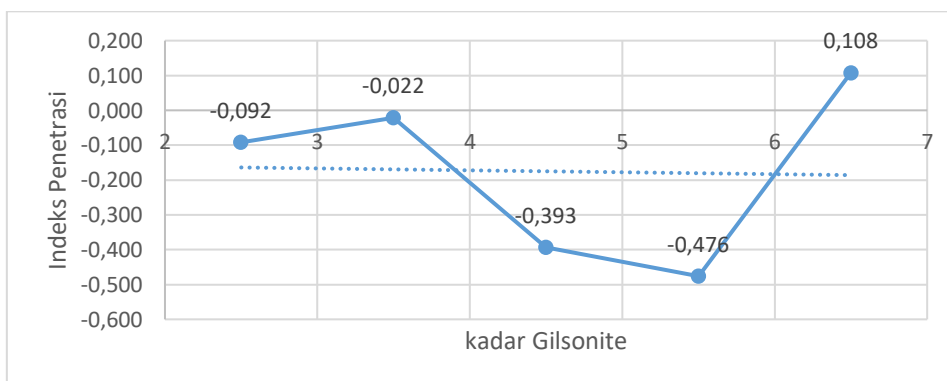
Hubungan antara nilai indeks penetrasi dengan kadar aspal modifikasi tercantum pada grafik dibawah ini.

4.1.1 Aspal Modifikasi *Gilsonite*



Gambar 1. Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Indeks Penetrasi pada pengujian 1

Pada aspal modifikasi *gilsonite* pengujian pertama, didapatkan *trendline linear* dengan persamaan $y = 0,075x - 1,1088$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,8207$. Berdasarkan tabel 1, penambahan kadar *gilsonite* akan menurunkan sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu yang ditunjukkan dengan nilai indeks penetrasi semakin mendekati +2. Pada kadar 7,5% terjadi penurunan nilai indeks penetrasi yang menunjukkan meningkatnya sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu. Namun, penurunan nilai indeks penetrasi ini tidak berpengaruh secara signifikan.

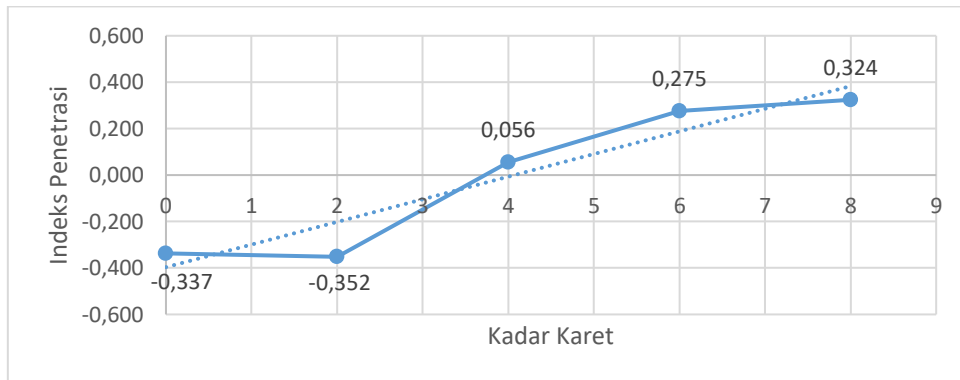


Gambar 2. Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Indeks Penetrasi pada pengujian 2

Pada aspal modifikasi *gilsonite* pengujian kedua, didapatkan *trendline linear* dengan persamaan $y = -0,0055x - 0,1503$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,0012$. Pada pengujian kedua ini, kadar *gilsonite* yang ditambahkan mulai dari kadar 2,5% - 6,5% dan didapatkan hasil tren indeks penetrasi yang berbeda dengan pengujian pertama. Pada pengujian kedua ini didapatkan anomali, yaitu seiring pertambahan kadar *gilsonite* maka aspal akan semakin sensitif terhadap perubahan suhu yang ditunjukkan dengan penurunan nilai indeks penetrasi yang mendekati -2. Hal ini sangat berbeda dengan hasil pada pengujian pertama.

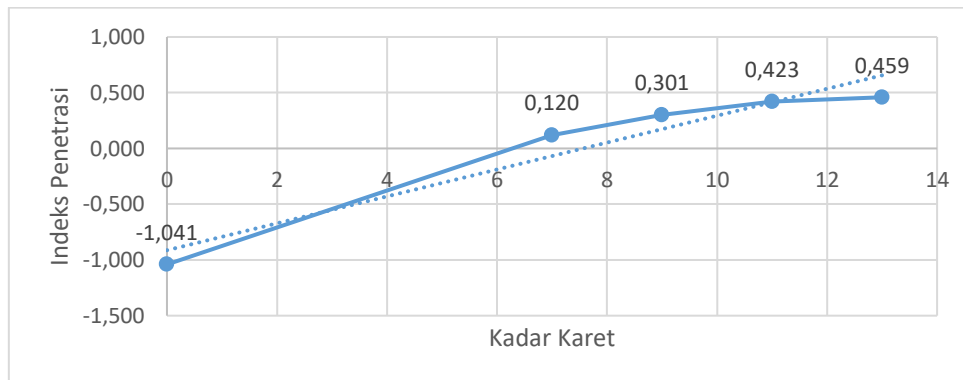
Perbedaan yang terjadi dapat disebabkan oleh suhu pencampuran antara aspal dan *gilsonite* yang kurang optimal ataupun pada proses pengadukan antara aspal dan *gilsonite* yang belum homogen.

4.1.2 Aspal Modifikasi Karet Alam



Gambar 3. Hubungan Kadar Karet dengan Indeks Penetrasi, pada pengujian 1

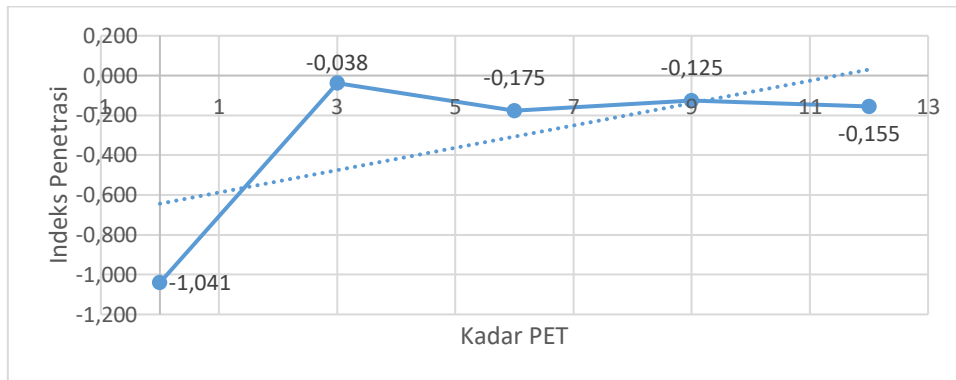
Pada aspal modifikasi karet SIR20 pengujian pertama, didapatkan *trendline* linear dengan persamaan $y = 0,0975x - 0,3966$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9025$. Berdasarkan tabel 1, penambahan kadar karet akan menurunkan sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu yang ditunjukkan dengan nilai indeks penetrasi semakin mendekati +2. Pada penambahan kadar karet sampai dengan 2%, belum terjadi perubahan sifat aspal terhadap temperatur yang signifikan. Namun, pergerakan sifat aspal terhadap temperatur baru terlihat saat penambahan kadar > 2%, dimana aspal dengan penambahan karet akan menjadi lebih tidak sensitive terhadap perubahan suhu yang ditunjukkan dengan naiknya nilai indeks penetrasi dari -0,352 – 0,324. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan karet yang dapat membuat perubahan sifat aspal terhadap perubahan suhu harus dilakukan pada penambahan kadar karet > 2%.



Gambar 4.4 Hubungan Kadar Karet dengan Indeks Penetrasi, pada pengujian 2

Pada aspal modifikasi karet SIR20 pengujian kedua, didapatkan *trendline* linear dengan persamaan $y = 0,1207x - 0,9131$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9317$. Pada pengujian kedua ini, kadar karet ditambahkan untuk melihat apakah ada titik optimum penambahan kadar karet yang dapat berpengaruh terhadap sifat aspal. Terlihat pada gambar 4.4 bahwa setelah penambahan kadar karet 8%, nilai indeks penetrasi tidak terlalu berubah secara signifikan meskipun semakin mendekati nilai +2% yang menunjukkan bahwa aspal modifikasi karet semakin tidak sensitif terhadap perubahan suhu.

4.1.3 Aspal Modifikasi PET



Gambar 4.5 Hubungan Kadar PET dengan Indeks Penetrasi

Pada aspal modifikasi PET, didapatkan *trendline* linear dengan persamaan $y = 0,0562x - 0,6437$ dan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,4149$. Pada aspal modifikasi dengan PET, nilai indeks penetrasi tidak terlalu berubah secara signifikan setelah penambahan PET > 3% dan menunjukkan bahwa penambahan PET akan menurunkan nilai indeks penetrasi -0,038 menjadi -0,155 semakin mendekati nilai -2% yang menunjukkan bahwa aspal modifikasi karet semakin sensitif terhadap perubahan suhu.

4.2 PEMBAHASAN

4.2.1 Aspal modifikasi *gilsonite*

Pada aspal modifikasi *gilsonite* didapatkan nilai Indeks Penetrasi yang mendekati +2 seiring bertambahnya kadar *gilsonite* sampai titik optimum penambahan kadar *gilsonite* yaitu 7,5% dengan nilai indeks penetrasi 0,471. Hal tersebut menunjukkan sifat aspal yang semakin tidak sensitif dan semakin kuat terhadap temperatur. Referensi [6] berpendapat jika suatu aspal semakin tidak sensitif terhadap temperatur, maka campuran aspal ini semakin kuat terhadap deformasi permanen akibat penambahan beban.

4.2.2 Aspal modifikasi karet SIR20

Pada aspal modifikasi karet SIR20 didapatkan nilai Indeks Penetrasi yang mendekati +2 seiring bertambahnya kadar karet SIR20. Hal ini berarti semakin bertambah kadar karet SIR20 pada campuran aspal, maka sifat campuran aspal ini semakin keras dan semakin tidak sensitif terhadap temperatur. Namun, penambahan kadar karet yang optimum terhadap sensitivitas perubahan suhu terdapat pada kadar karet 8% dengan nilai indeks penetrasi 0,324.

4.2.3 Aspal Modifikasi PET

Pada aspal modifikasi PET didapatkan nilai Indeks Penetrasi yang cenderung berubah-ubah, ketidakstabilan ini disebabkan oleh sifat plastik PET. Jika semakin tinggi persen kadar PET dalam campuran, maka semakin berkurang derajat kepadatan atau semakin tinggi rongga di dalam campuran [11]. Hal ini mengakibatkan aspal tersebut menjadi tidak kuat dan hasil indeks penetrasinya tidak konsisten. Referensi [14] berpendapat bahwa semakin tinggi kadar PET maka nilai kekakuannya semakin menurun. Hal ini disebabkan karena sifat mekanik partikel PET di dalam campuran. Selain itu, titik lembek PET juga lebih tinggi daripada suhu pencampuran sehingga partikel PET-nya tidak meleleh. Partikel PET yang padat dapat membuat campuran lebih fleksibel dan menyebabkan deformasi yang lebih tinggi saat aplikasi pemuatan atau pembebanan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian sensitivitas aspal terhadap temperatur, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Dari 3 contoh bahan tambah yang digunakan, urutan aspal modifikasi yang lebih baik digunakan yaitu dengan urutan aspal modifikasi dengan karet SIR20 – aspal modifikasi dengan *gilsonite* – aspal modifikasi dengan PET.
- Aspal modifikasi dengan PET dibutuhkan penelitian mendalam mengenai sifat kimiawi dan mekanik dari PET yang digunakan sehingga proses pencampuran antara aspal dan PET dapat lebih homogen dan tercapai derajat kepadatan yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih ditujukan pada Politeknik Negeri Bandung yang telah mendanai kegiatan PKM-P yang kami ajukan. Terima kasih tak lupa kami tujukan kepada pembimbing kami Retno Utami, SST. MT. yang senantiasa membimbing dan membantu kami dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Affandi Furqon. 2018. Sifat Campuran Aspal Keras Yang Mengandung Bitumen Asbuton Untuk Konstruksi Campuran Beraspal. *Jurnal Jalan - Jembatan. Volume 24 No 2. 2007*
- [2] Fikri Husnul, A. Subagja, Agustina S.D. Manurung. 2019. Karakteristik Aspal Modifikasi dengan penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET). *10th Industrial Research Workshop and National Seminar.*
- [3] Manurung A S D. 2019. *Kinerja Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Dengan Penambahan Serbuk Limbah Botol Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate.* Tesis. Politeknik Negeri Bandung: Bandung.
- [4] Oktaviani T. 2018. *Analisis Pengaruh Penambahan Bahan Tambah Gilsonate Terhadap Kinerja Campuran Aspal.* Tesis. Politeknik Negeri Bandung: Bandung.
- [5] Yulianti N P. 2018. Peningkatan Kinerja Modifikasi Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Dengan Penambahan Masterbatch Karet Alam Padat. Tesis. Politeknik Negeri Bandung: Bandung
- [6] Utami R. & Suherman. 2019. Temperature sensitivity effect in asphalt modification with natural rubber sir20. *Material Science and Engineering.* 650
- [7] Indriyati E. W. 2017. Pengaruh Asbuton Murni Terhadap Indeks Penetrasi Aspal. *Jurnal Transportasi.* 17(3) : 185-192.
- [8] Hermadi Madi & Yohanes Ronny. 2015. Pengaruh Penambahan Lateks Alam Terhadap Sifat Reologi Aspal. *Jurnal HPJI. Vol. 1. No. 2 Juli 2015: 105-114.*
- [9] Ir.Suhartono. 2010. *Aspal Modifikasi Ditinjau Dari Kebutuhan Produksi, Penggunaan Dan Pengalaman Pemakaiannya.* Jakarta.
- [10] Salama H. 2010. *Studi Pemanfaatan Karet Alam (Sir 20) Yang Di Degradasi Secara Mekanis Untuk Bahan Aditif Aspal Modifikasi.* Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- [11] Suhardi. 2016. *Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik.* Skripsi. Universitas Lampung: Lampung.
- [12] Putra Harizkhan Utama. 2014. *Penggunaan Gilsonite Sebagai Zat Aditif Pada Perkerasan Lentur Jalan Raya Menggunakan Spesifikasi HRS-WC.* Skripsi. Universitas Andalas: Padang.
- [13] Al-Haddad H A & Abed Y H. 2020. *Temperature Susceptibility of Modified Asphalt Binders.* IOP Conf Ser: Material Science and Engineering.
- [14] Baghaee Moghaddam, T., Soltani, M., & Karim, M.R. 2014. Stiffness modulus of Polyethylene Terephthalate modified asphalt mixture: A statistical analysis of the laboratory testing results, *Materials and Design.*