

Analisis Kuat Tarik dan Modulus Resilien Pada Campuran Beton Aspal Terhadap Penggunaan Pasir Pantai Sebagai Fraksi Agregat Halus

Ahmad Alfian P.Wedda¹, Liliyan Bea², Winarno Arifin³, Asma Massara⁴, Muh. Kasim Anies⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia

Jl. Urip Sumoharjo Km 05 Panaikang, Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231

Email: ¹)ahmadpw77@gmail.com; ²)lian.liliyan@gmail.com; ³)winarno.arifin@umi.ac.id;

⁴)asma.massara@umi.ac.id; ⁵)muhkasim.anies@umi.ac.id

ABSTRAK

Pesatnya pertumbuhan penduduk menyebabkan semakin maraknya terjadi kerusakan dan keretakan pada konstruksi perkerasan jalan. Retakan terjadi karena adanya beban tekan berulang yang menimbulkan beban vertikal, sehingga terjadi gaya tarik para lapisan bawah yang mengakibatkan retakan yang akan merambat ke atas. Pemanfaatan material lokal menjadi alternatif yang dapat mengurangi biaya angkutan, memudahkan pekerjaan meninjau kualitas dan ekonomi material. Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar didunia dan memiliki ketersediaan pasir pantai yang cukup banyak. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pada campuran beton aspal menggunakan pasir pantai serta kekuatan tarik dan modulus resilien. Variasi pasir pantai adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Aspal rencana yang digunakan adalah 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%. Pengujian pertama menggunakan alat Marshall Test guna mencari kadar aspal optimum dari tiap variasi persentase pasir pantai. Pengujian kedua menggunakan alat Indirect Tensile Strenght (ITS) berdasarkan Kadar Aspal Optimum dari variasi pasir pantai. Karakteristik campuran menggunakan pasir pantai dapat digunakan pada persentase tertentu dimana nilai hasil uji Marshall memenuhi spesifikasi. Berdasarkan hasil tersebut nilai kuat tarik tertinggi variasi 5% adalah 69283,79 KPa dan nilai modulus resilien tertinggi variasi 25% adalah 5358,49 KPa.

Kata Kunci: Kuat tarik tidak langsung, modulus resilien, pasir pantai

ABSTRACT

The rapid population growth has resulted in more widespread damage and cracks in road pavement construction. Cracks occur due to repeated compressive loads that is caused by vertical loads, resulting in a pulling force of the lower layers which causing cracks that will propagate upward. The use of local materials is an alternative that can reduce transportation costs, facilitate the work of reviewing the quality and economy of the material. Indonesia is the largest archipelagic country in the world and has a large amount of beach sand. The purpose of this study was to determine the characteristics of the mix of asphalt concrete using beach sand as well as tensile strength and resilient modulus. The variations of beach sand are 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%. The plan asphalt used is 6%, 6.5%, 7%, 7.5%, and 8%. The first test used the Marshall Test tool to find the optimum asphalt content of each variation of the percentage of beach sand. The second test uses the Indirect Tensile Strength (ITS) tool based on the Optimum Asphalt Content of the beach sand variation. The characteristics of the mixture using beach sand can be used at a certain percentage where the Marshall test results meet the specifications. Based on these results the highest tensile strength value of 5% variation was 69283.79 KPa and the highest resilient modulus value of 25% variation was 5358.49 KPa.

Keywords: Indirect tensile strength, resilient modulus, beach sand

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Lapisan yang berada diatas permukaan tanah dan dipadatkan berguna untuk menerima beban kendaraan (lalu lintas) dan menyebarkan pada lapisan yang berada dibawahnya (Yuda Afriansyah; Leo Sentosaa, 2010). Semakin pesatnya pertumbuhan penduduk menyebabkan jumlah kendaraan semakin meningkat. Menurut (Sunarjono et al., 2012) Beban roda kendaraan yang bergerak dan berhenti memberikan gaya tekan yang mengakibatkan lapisan bawah terjadi gaya tarik yang mengakibatkan retakan yang akan merambat keatas.

Retakan terjadi karena adanya beban tekan yang terus berulang menimbulkan gaya vertikal, mengakibatkan perkerasan mengalami deformasi sehingga terdesak kesamping yang menyebabkan tegangan tarik sehingga terjadi regangan yang menimbulkan pelepasan butir yang menyebabkan keretakan. Dengan bertambahnya pembangunan, maka bertambah pula penggunaan kebutuhan bahan material. Penggunaan agregat alam tersebut yang terus menerus menyebabkan semakin langka, sehingga itu kita perlu mencari alternatif lain dengan cara memanfaatkan sumber daya alam. Pemanfaatan material lokal pasir pantai menjadi alternatif yang dapat mengurangi biaya angkutan, memudahkan pekerjaan dengan meninjau kualitas dan ekonomi material ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Penjelasan diatas, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana karakteristik campuran beton aspal dengan menggunakan pasir pantai?
- 2) Bagaimana pengaruh kekuatan campuran beton aspal terhadap kuat tarik dan modulus resilien dengan campuran menggunakan pasir pantai?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui karakteristik campuran beton aspal dengan menggunakan pasir pantai.
- 2) Menganalisa pengaruh kekuatan pasir pantai terhadap kuat tarik dan modulus resilien.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dikerjakan di Laboratorium Jalan Raya dan Transportasi, Fakultas teknik Universitas Muslim Indonesia, Makassar

2.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan Penelitian

Aspal yang digunakan adalah aspal minyak dengan penetrasi 60/70 yang diproduksi Pertamina. Agregat halus abu batu dan agregat kasar didapatkan didaerah Samata, Kab. Gowa, dan agregat halus pasir pantai diambil di Pantai Dato, Sulawesi Barat.

Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan merupakan alat yang terdapat di Laboratorium Jalan Raya dan Transportasi, Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia.

2.3 Tahapan Penelitian

- 1) Persiapan benda uji
Persiapan ini terdiri atas persiapan bahan yang kemudian dilanjutkan dengan pemeriksaan bahan. Bahan yang disiapkan antara lain aspal, agregat kasar, agregat halus abu batu, serta pasir pantai.
- 2) Pengujian Bahan Benda Uji
Sesudah proses persiapan benda uji di lakukan, maka bahan akan diuji sesuai dengan pengujian. Bahan-bahan yang di gunakan harus memenuhi spesifikasi sebagai bahan campuran beton aspal.
- 3) Penentuan Campuran
Sebelum melakukan pembuatan

benda uji terlebih dahulu dilakukan Penentuan fraksi campuran, penentuan kebutuhan material, penentuan variasi pasir pantai dengan interval 5%, penentuan kadar aspal rencana dengan interval 0,5%, penentuan suhu pemadatan dan suhu pencampuran.

4) Pembuatan Benda Uji

Proses ini dilakukan setelah semua bahan-bahan campuran beton aspal selesai di uji dan telah memenuhi spesifikasi. Variasi kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8% digunakan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Setelah di dapatkan Kadar Aspal Optimum dari masing-masing variasi persentase pasir pantai maka ditentukan perencanaan campuran untuk dilakukan pengujian kuat tarik.

2.4 Pengujian Indirect Tensile Strength

Prosedur pengujian ini sebagai berikut:

- 1) Benda uji dibersihkan terlebih dulu dan masing-masing benda uji diberi tanda atau nomor untuk mengetahui jenis campuran dan persentase kadar aspal.
- 2) Benda uji tersebut kemudian diukur tebal dan diameter dengan ketelitian 0,01 mm.
- 3) Benda uji kemudian dipanaskan dengan menggunakan oven temperatur telah ditentukan dengan melakukan pengujian.
- 4) Bersihkan dial.
- 5) Pasang dial sebanyak dua buah pada alat penguji dengan arah horizontal.
- 6) Setelah benda uji dipasang, aturlah kedudukan dial pada angka nol.
- 7) Benda uji tersebut kemudian diberikan beban 50 mm/menit.
- 8) Pada saat pembebanan maksimum ukurlah deformasi tarik horizontal dan vertikal.

2.5 Metode Analisis Data

Metode analisa regresi adalah metode yang digunakan untuk mengolah data penelitian ini. Kegunaan Analisis

regresi yaitu untuk mengetahui pola relasi yang terjadi atau hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat yang memiliki tingkat kesalahan rendah. Pada umumnya hubungan yang diperoleh dan dinyatakan dalam bentuk suatu persamaan matematik dengan menyatakan hubungan fungsional antara variabel - variabelnya.

Dengan menggunakan analisis regresi perilaku dari variabel terikat yang menggunakan data variabel bebas dapat diprediksi. Jika hubungan suatu variabel mengalami penurunan ataupun kenaikan, variabel lainnya akan mengalami hal yang sama disebut hubungan linear. Jika hubungan tersebut adalah positif, maka masing-masing kenaikan variabel bebas juga membuat kenaikan pada variabel terikat. Sebaliknya jika variabel bebas mengalami masing-masing penurunan, variabel terikat juga akan mengalami penurunan. Jika hubungan tersebut adalah negatif, maka kenaikan variabel bebas akan membuat variabel terikat mengalami penurunan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis dan Hasil Pengujian Marshall Test untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

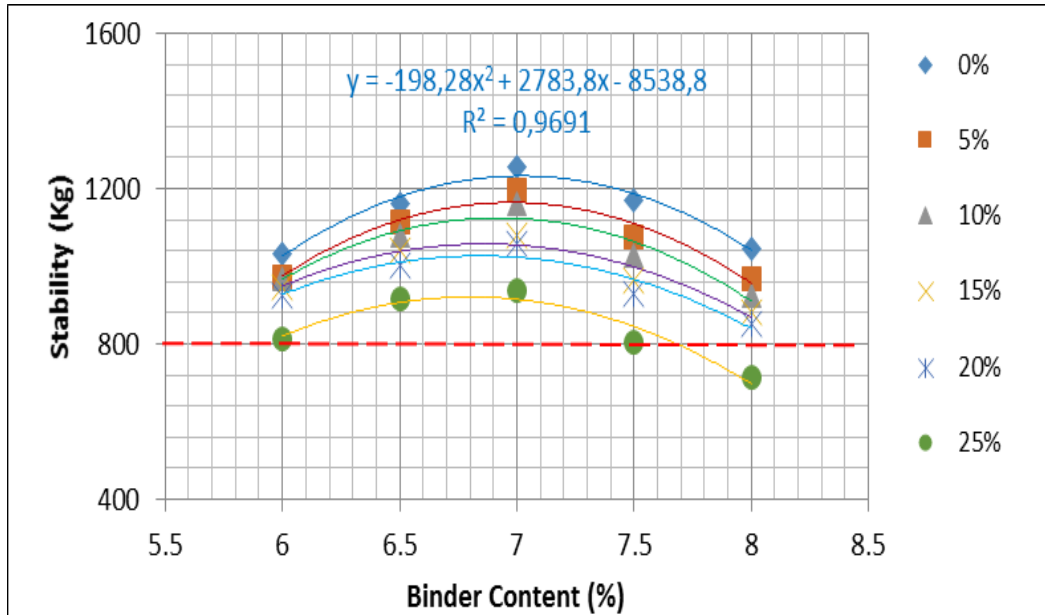
Karakteristik campuran aspal yang dihitung terdiri dari Stabilitas, Density Void in Mixture (VIM), Flow, Void Filled with Asphalt (VFA), Void in Mineral Aggregates (VMA) dan Marshall Quotient menggunakan Metode Marshall Test yang didapat dari pengujian Laboratorium kemudian diperoleh hasil perhitungan dengan 5 kadar aspal yang digunakan 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%. Semua nilai hasil pengujian kemudian dimasukkan ke dalam grafik agar dapat diketahui perlakuan antara kadar aspal dengan karakteristik tersebut.

Hubungan Kadar Aspal Terhadap Stabilitas

Kemampuan perkerasan dalam menerima beban lalu lintas tanpa

adanya perubahan terhadap bentuk yang tetap seperti terjadi bergelombang, *bleeding*, dan alur disebut dengan stabilitas.

Spesifikasi min 800 kg



Gambar.1 Grafik hubungan kadar aspal terhadap stabilitas

Hasil analisa grafik diatas (1) memperlihatkan grafik tersebut berbentuk parabola dimana terdapat nilai minimum dan nilai maksimum pada suatu kadar aspal tertentu, campuran tersebut akan mencapai batas maksimum dan kemudian akan menurun seiring ditambahkannya kadar aspal. Sehingga menyebabkan campuran lembek dan tidak padat karena jumlah kadar aspal berlebihan. Semakin bertambahnya pasir pantai maka semakin rendah nilai stabilitasnya disebabkan ikatan campuran antara agregat yang terselimuti aspal menjadi meregang yang diakibatkan dari desakan pasir pantai yang lebih banyak. Berikut persamaan dx/dy pada variasi pasir pantai 0%.

$$y = -198,28x^2 + 2783,8x + 8538,4$$

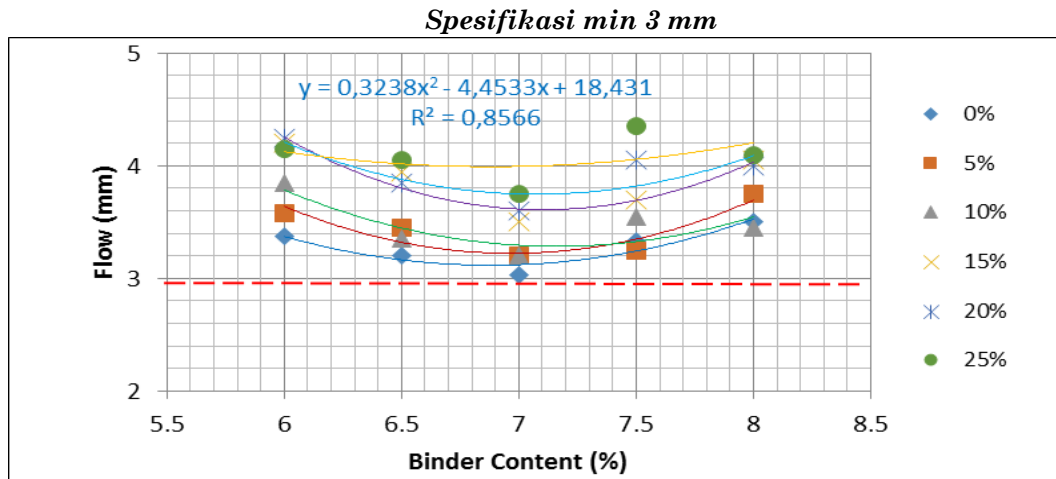
$$= -198,28 (2) x + 2783,8$$

$$= 7,02\%$$

Untuk nilai x, substitusi ke persamaan $-198,28x^2 + 2783,38x + 8538,4$ untuk mengetahui hasil nilai stabilitas pada grafik. Jadi nilai stabilitas 1232,56 kg dan kadar aspal adalah 7,02%.

Hubungan Kadar Aspal terhadap Flow

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan suatu perkerasan lentur dalam menerima lendutan yang terjadi secara terus menerus sehingga terjadi deformasi atau perubahan bentuk sementara yang diakibatkan beban lalu lintas, tidak terjadinya kelelahan atau terjadinya alur dan retak.



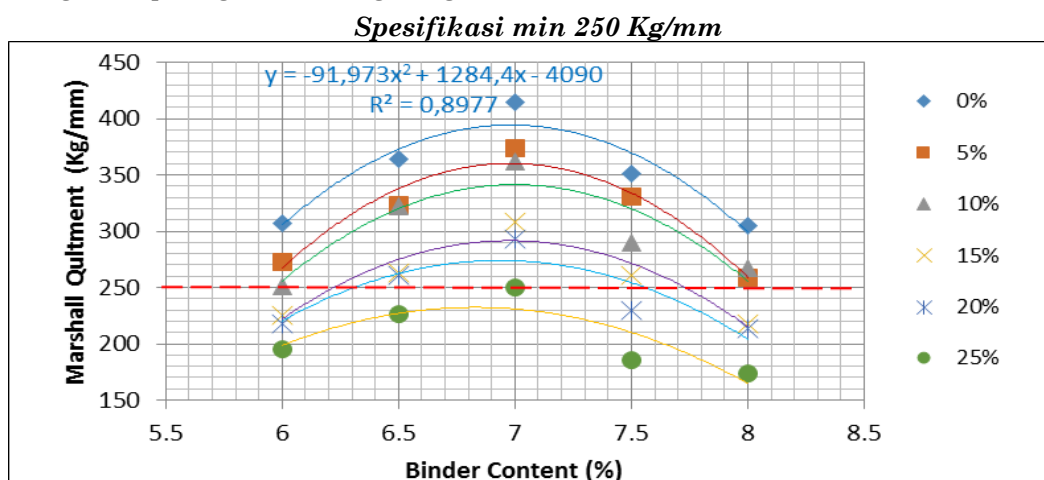
Gambar.2 Grafik hubungan antara kadar aspal terhadap *flow*

Grafik diatas (2) menunjukkan pada Kadar aspal 6% mengalami penurunan hingga kadar aspal 7%. Akan tetapi pada saat kadar aspal penambahan kadar aspal lebih dari 7% maka nilai flow mengalami peningkatan. Hal ini menjelaskan bahwa kurangnya kandungan aspal untuk menyelimuti agregat mengakibatkan mudahnya terjadi kelelahan atau keruntuhan pada campuran aspal dan besarnya nilai flow pada campuran dapat menggambarkan bahwa campuran tersebut lebih rentan terhadap perubahan bentuk. Sehingga Semakin rendah nilai flow tersebut maka campuran lebih tahan terhadap kelelahan atau keruntuhan yang akan mengalami peningkatan seiring dengan

bertambah banyaknya jumlah pasir pantai. Nilai flow yang semakin tinggi maka campuran menjadi padat dan ruang udara menjadi kecil.

Hubungan Kadar Aspal terhadap Marshall Qulent

Marshall Qulent merupakan suatu perbandingan nilai yang hampir memperlihatkan nilai kekuatan pada campuran aspal dalam menerima beban lalu lintas dan dinyatakan dalam satuan Kg/mm. Hasil bagi Marshall didapat dari perbandingan antara stabilitas dan flow. Sedangkan nilai Marshall Qulent didapat pada perbandingan antara stabilitas yang telah dikoreksi dengan nilai *flow*.



Gambar 3 Grafik hubungan kadar aspal terhadap *marshall quentient*

Analisis Kuat Tarik dan Modulus Resilien Pada Campuran Beton Aspal Terhadap Penggunaan Pasir Pantai Sebagai Fraksi Agregat Halus

Pada grafik 6 terlihat terjadi peningkatan pada nilai MQ mulai kadar aspal 6% sampai kadar aspal 7 % kemudian mengalami penurunan pada nilai MQ kadar aspal 7% sampai kadar aspal 8%. semua kadar aspal variasi pasir pantai 25% nilai MQ tidak memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan. Nilai MQ menurun seiring bertambahnya persentase pasir pantai.

$$x = \frac{dx}{dy}$$

$$Y = -91,973x^2 + 1284,4x - 4090$$

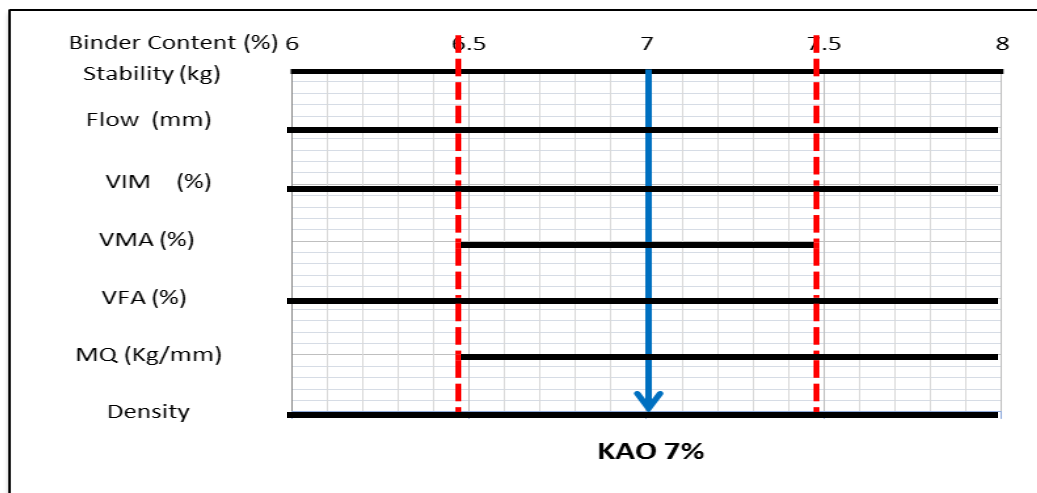
$$= -91,973 (2) x + 1284,4$$

$$= 6,98\%$$

Untuk nilai x, substitusi ke persamaan $-91,973x^2 + 1284,4x - 4090$ untuk mengetahui hasil nilai MQ pada Gambar. Jadi nilai MQ 394,151 kg/mm dan kadar aspal adalah 6,98%.

Hubungan Kadar Aspal dengan Karakteristik Campuran

Dalam campuran beton aspal ada tujuh karakteristik pada campuran yang wajib yaitu stabilitas, durabilitas, ketahanan terhadap kelelahan (fatigue resistance), fleksibilitas, kedap air, ketahanan geser, dan kemudahan dalam pengerjaan.



Gambar.4 Grafik penentuan nilai KAO variasi pasir pantai 0%

Analisa Barchart Grafik 8 merupakan hubungan antara kadar aspal terhadap karakteristik campuran menggunakan nilai yang berada ditengah seperti terlihat pada Gambar yang telah memenuhi karakteristik campuran pada *Marshall Test*, sehingga memperoleh nilai KAO yaitu 7%.

$$KAO = \frac{6,5 + 7,5}{2} = 7\%$$

Karakteristik suatu campuran aspal seperti nilai stabilitas, *Density*, *flow*, VMA, VIM, VFA, dan MQ pada campuran HRS-WC dipengaruhi oleh KAO. Dimana nilai VIM mengalami penurunan secara konsisten seiring dengan meningkatnya kadar aspal.

VFA mengalami peningkatan secara konsisten seiring dengan bertambahnya jumlah kadar aspal. Nilai stabilitas mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kadar aspal hingga batas tertentu kemudian mengalami penurunan.

Nilai *Flow* terus meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah kadar aspal. MQ meningkat seiring dengan meningkatnya pula jumlah kadar aspal hingga batas tertentu kemudian mengalami penurunan. Berikut nilai KAO yang dipakai pada perencanaan campuran beton aspal HRS-WC adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Kadar aspal optimum pasir pantai

Pasir Pantai	Kadar Aspal Optimum
0%	7,0%
5%	7,0%
10%	6,95%
15%	6,78%
20%	6,68%
25%	6,63%

3.2 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* terhadap Penggunaan Bahan Subtitusi berdasarkan KAO

Hubungan *Indirect Tensile Strength* (ITS) terhadap Variasi Pasir Pantai

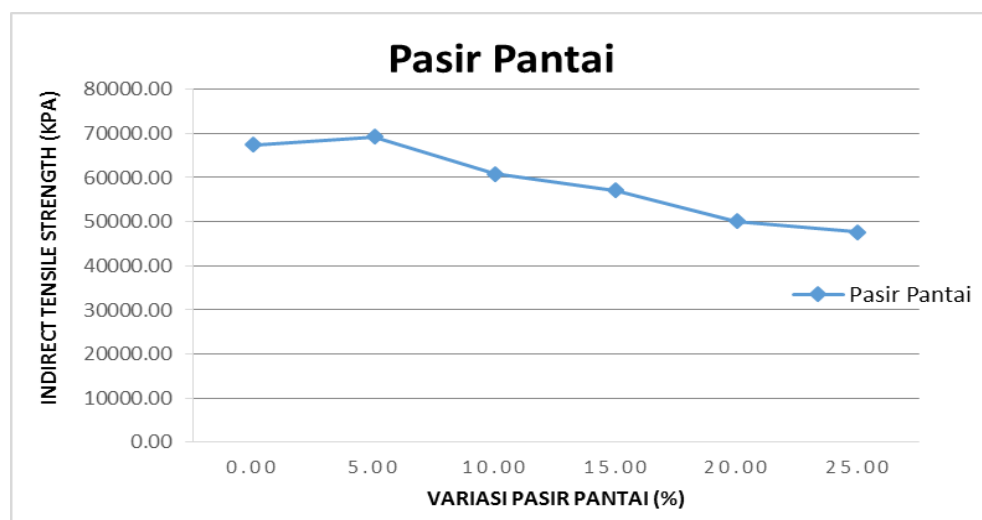
Indirect Tensile Strength (ITS) merupakan kemampuan bahan dalam menerima suatu beban tarik tanpa mengalami perubahan atau kerusakan kemudian dikatakan sebagai tegangan maksimum sebelum putus. Kuat Tarik merupakan kebalikan dari Kekuatan

Tekan, dan memiliki nilai yang bisa berbeda.

Beban yang di berikan secara berulang akan menyebabkan tegangan yang disertai naiknya regangan hingga sampai pada regangan (strain) tertentu, yaitu suatu keadaan benda uji mulai muncul retakan sehingga terjadi tegangan maksimum. Kemudian saat tercapai regangan tertentu, benda uji mulai hancur atau mengalami retakan, berarti tegangan yang terjadi telah mencapai tegangan maksimum (Wiyono & Setiawan,2015).

Tabel 3 Rekapitulasi Nilai ITS Pada KAO Variasi Pasir Pantai

Variasi Pasir Pantai (%)	Nilai ITS (Kpa)
0	67382,79
5	69283,66
10	60818,79
15	57091,24
20	50143,73
25	47677,15



Gambar 5 Grafik hubungan ITS terhadap variasi pasir pantai

Berdasarkan gambar 5 dapat dianalisis bahwa pada penambahan pasir pantai 0% hingga 5% kuat tarik mengalami peningkatan kemudian pada variasi 10% pasir pantai kuat tarik mengalami penurunan hingga pada 25% variasi pasir pantai. Sehingga semakin besar persentase pasir pantai yang digunakan maka nilai ITS akan semakin kecil. Karena tekstur pasir pantai tersebut kasar sehingga menyebabkan banyak rongga yang terdapat pada campuran, sehingga kemampuan penyebaran beban dari lapisan bituminous, hal ini dapat mengendalikan tingkat pembebanan lalu lintas yang dihasilkan tegangan tarik dibagian bawah campuran beton aspal pada lapisan terendah yang berfungsi untuk menahan retak kelelahan.

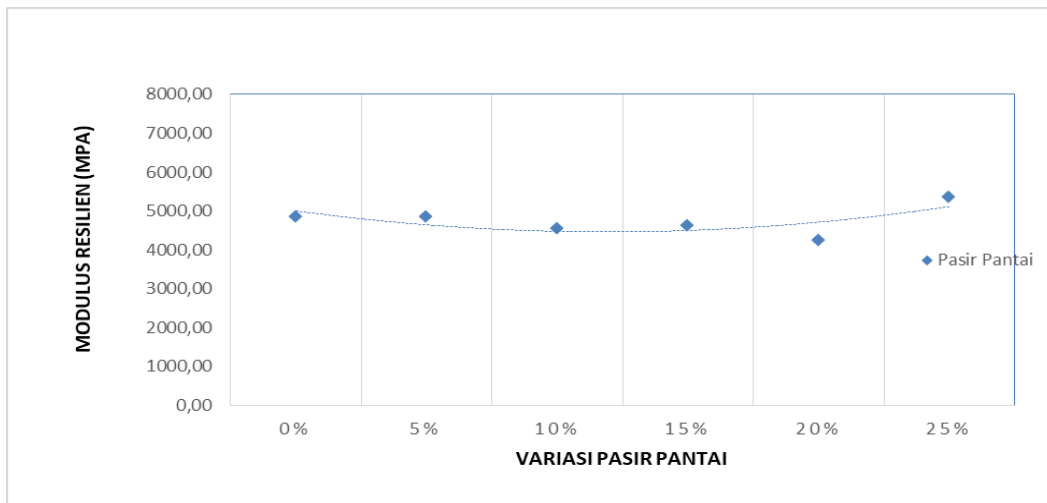
Hubungan Modulus Resilien (MR) terhadap Variasi Pasir Pantai

Uji Modulus Resilien adalah kemampuan penyebaran beban dari lapisan bituminous, hal ini dapat mengendalikan tingkat pembebanan lalu lintas yang dihasilkan tegangan tarik dibagian bawah campuran beton aspal pada lapisan terendah yang berfungsi untuk menahan retak kelelahan.(Law, 2004)

Modulus resilien merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan beton aspal karena akan berpengaruh pada kinerja perkerasan, jika nilai modulus resilien besar maka perkerasan tersebut akan dengan mudah mengalami keretakan saat menerima beban berat dan tidak tahan terhadap perubahan bentuk. (Sri et al., 2009)

Tabel 4 Rekapitulasi modulus resilien pada Kadar Aspal Optimum variasi pasir pantai

Variasi Pasir Pantai (%)	Nilai Modulus Resilien (MR)
0	4846,35
5	4852,94
10	4536,05
15	4611,98
20	4238,05
25	5358,49



Gambar 6 Grafik hubungan modulus resilien terhadap variasi pasir pantai

Berdasarkan Gambar 6 dapat dianalisis bahwa hubungan modulus

resilien terhadap bahan pasir pantai pada variasi 0% hingga 5% nilai modulus resilien mengalami

peningkatan kemudian menurun pada variasi pasir pantai 10% hingga 20%, dan meningkat lagi pada variasi pasir pantai 25% . Apabila Jumlah persentase pasir pantai yang digunakan lebih besar, maka nilai modulus resilien akan semakin besar juga.

Pengaruh penggunaan pasir pantai dalam variasi yang cukup banyak sebagai fraksi agregat halus dalam campuran beton aspal dapat meningkatkan nilai modulus resilien. Variasi yang cukup banyak dimaksudkan ialah pada variasi 25%. Pada variasi tersebut nilai modulus resilien berada pada nilai tertinggi yang dimana peran pasir pantai pada variasi tersebut mampu membuat campuran menjadi kaku dan tahan terhadap lendutan. Kemampuan benda uji pada variasi tersebut juga bekerja dengan sangat baik karena mampu menahan beban yang tinggi karena nilai modulus resilien yang juga tinggi sehingga campuran menjadi kaku yang menyebabkan potensi terjadinya perubahan bentuk berkurang.

Berbeda dengan variasi 0% hingga 20% nilai modulus resilien pada variasi tersebut mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah pasir pantai hal ini disebabkan penggunaan pasir pantai masih belum cukup optimal dalam membuat campuran menjadi kaku. Jika modulus resilien rendah maka akan menyebabkan perkerasan menjadi lunak dan mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian campuran dengan menggunakan pasir pantai sebagai fraksi agregat halus dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Karakteristik campuran beton aspal dengan menggunakan pasir pantai pada campuran beton aspal yaitu pasir pantai dapat digunakan dengan

persentase tertentu. Di mana nilai *marshall* (*flow*, stabilitas, VIM, VFA, VMA, dan MQ) memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Semakin tinggi persentase pasir pantai maka semakin tinggi nilai *flow*, dan semakin rendah nilai stabilitas.

- 2) Pengaruh penambahan pasir pantai pada campuran beton aspal dalam pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung yakni dapat meningkatkan nilai tegangan tarik pada variasi pasir pantai 5% dengan nilai sebesar 69283,66 Kpa dan nilai Modulus Resilien yang tertinggi pada variasi pasir pantai 25% adalah 5358,49 Mpa, apabila persentase variasi pasir pantai yang digunakan berlebihan maka nilai modulus resilien akan semakin tinggi.

4.2 Saran

Dari penelitian ini dapat diajukan beberapa saran sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini diharapkan bisa dikembangkan untuk meneliti lebih spesifik dengan menggunakan jenis campuran beton aspal lainnya.
- 2) Untuk menghasilkan data yang lebih terperinci mengenai penggunaan pasir pantai, maka pengujian selanjutnya disarankan membuat benda uji yang lebih banyak.
- 3) Rancangan yang kami teliti kiranya dapat dipertimbangkan sebagai salah satu masukan untuk diaplikasikan pada pelaksanaan konstruksi jalan sebagai lapis perkerasan.

Daftar Pustaka

- Law, T. L. (2004). Resilient modulus of asphalt concrete mixtures. *Department of Civil Engineering, Master of(2)*, 153.
- Sri, W., Bambang, S. S., & Bagus, H. S. (2009). Analisis Modulus Elastisitas Beton Aspal Yang Diperkuat Dengan Geotekstil Dari

Analisis Kuat Tarik dan Modulus Resilien Pada Campuran Beton Aspal Terhadap Penggunaan Pasir Pantai Sebagai Fraksi Agregat Halus

- Hasil Uji Tekuk Batang. Universitas Diponegoro Semarang, 1980, 130–134.
- Sunarjono, S., Samantha, R., Pengajar, D., Pascasarjana, P., Sipil, T., Surakarta, U. M., Studi, P., Sipil, T., & Muhammadiyah, U. (2012). *Analisis kekuatan tarik material campuran sma (split mastic asphalt) grading 0/11 menggunakan sistem pengujian indirect tensile strength*. 57–64.
- Wiyono, A., & Setiawan, A. (2015). *Pengaruh Temperatur Terhadap Modulus Elastisitas Dan Angka Poisson Beton Aspal Lapis Aus Dengan Bahan Pengisi Kapur*. *Jurnal Transportasi*, 15(3), 209–218.
- Yuda Afriansyah; Leo Sentosaa. (2010). *Kuat Tarik Tidak Langsung Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Menggunakan Pasir Alam Kampar*. 2, 93–95.