

Analisis Penggunaan Pasir Pantai Terhadap Peningkatan Kuat Tarik dan Modulus Resilien Pada Campuran Lataston (Hrs - Wc)

¹Ilham Yunus, ²Humairah Annisa

^{1,2}Teknik Sipil, Universitas Lamappapoleonro

^{1,2}Jalan Kesatria No. 60 Watansoppeng, Botto Kecamatan Lalabata, Soppeng Sulawesi Selatan-Indonesia

e-mail : ¹ilham.yunus@unipol.ac.id, ²humairah@unipol.ac.id

JTEKSIL	Abstrak
Kata Kunci :	Pertumbuhan penduduk berbanding lurus dengan semakin besarnya aktifitas dan mobilitas masyarakat sehingga beban lalu lintas semakin besar. Hal ini berpotensi menyebabkan kerusakan pada perkerasan jalan. Beberapa alternatif solusi terus diterapkan dalam rangka meningkatkan kekuatan perkerasan, baik dengan penggunaan alternatif material tambah hingga penambahan aditif. Penelitian ini berfokus pada penggunaan material pasir pantai sebagai pengganti agregat halus pada campuran Lataston (HRS). Pemanfaatan pasir pantai ini diharapkan mampu memberikan tambahan kuat tarik dan meningkatkan kekakuan campuran (modulus resilien), sehingga perkerasan jalan menjadi lebih baik lagi. Tujuan penelitian ini, yaitu mengetahui nilai kuat tarik dan modulus resilien pada lapisan HRS-WC menggunakan pasir pantai. Tahapan penelitian sebagai berikut: 1) Penelitian ini diawali dengan persiapan sampel (agregat, aspal pen. 60/70, dan pasir pantai), 2) Masing-masing material diuji kelayakan materialnya sesuai Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3), 3) Komposisi campuran HRS-WC berdasarkan Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3), 4) Uji <i>Marshall</i> untuk mengetahui karakteristik campuran, 5) Komposisi campuran HRS-WC baru, yaitu variasi agregat kasar, halus (substitusi pasir pantai), abu batu dan aspal untuk uji kuat tarik dan modulus resilien, 6) Uji <i>Indirect Tensile Strength</i> (ITS) untuk mengetahui kuat tarik dan modulus resilien campuran. Target penelitian ini adalah meningkatkan kinerja perkerasan jalan dengan meningkatkan kuat tarik dan kekakuan campuran dengan substitusi pasir pantai dari pantai Dato, Sulawesi Selatan. Level tingkat kesiapan teknologi (TKT) penelitian ini berada pada level 2, yaitu mencari formulasi model atau aplikasi dari teknologi pasir pantai Dato pada campuran HRS-WC. Target TKT selanjutnya adalah pada level 3, yaitu pembuktian konsep hasil formulasi model.
Keywords:	<i>Population growth is directly proportional to the greater activity and mobility of the community so that the traffic burden is greater. This has the potential to cause damage to the road pavement. Several alternative solutions continue to be applied in order to increase pavement strength, both with the use of additional material alternatives to the addition of additives. This study focused on the use of beach sand material as a substitute for fine aggregate in Lataston mixture (HRS). The use of beach sand is expected to be able to provide additional tensile strength and increase the stiffness of the mixture (resilient modulus), so that the road pavement becomes even better. The purpose of this study is to determine the value of tensile strength and resilient modulus in the HRS-WC layer using beach sand. The stages of the study are as follows: 1) This research begins with sample preparation (aggregate, asphalt pen. 60/70, and beach sand), 2) Each material is tested for material feasibility according to General Specifications 2010 (Revision 3), 3) HRS-WC mixture composition based on General Specifications 2010 (Revision 3), 4) Marshall</i>
Beach sand; tensile strength; Resilient Modulus	

test to determine mixture characteristics, 5) New HRS-WC mixture composition, i.e. coarse aggregate variation, fine (substitution of beach sand), rock ash and asphalt for tensile strength and resilient modulus tests, 6) Indirect Tensile Strength (ITS) test to determine the tensile strength and resilient modulus of the mixture. The target of this study is to improve road pavement performance by increasing tensile strength and mixed stiffness with beach sand substitution from Dato beach, South Sulawesi. The level of technological readiness level (TKT) of this research is at level 2, which is looking for model formulations or applications of Dato beach sand technology in the HRS-WC mixture. The next TKT target is at level 3, namely proof of concept of model formulation results

© 2023

Universitas Lamappapoleonro

PENDAHULUAN

Perkerasan lentur merupakan struktur perkerasan jalan raya yang paling banyak digunakan dan diminati. Kelebihan perkerasan lentur yaitu memiliki daya dukung yang besar sehingga mampu menerima beban lalu lintas ditambah biaya konstruksi yang lebih ekonomis. Dilihat dari sisi kenyamanan berkendara, perkerasan lentur mempunyai tingkat kenyamanan yang lebih baik dari perkerasan jenis lainnya, karena sifatnya yang lentur dan permukaan yang lebih rata. Dari berbagai kelebihan yang dimilikinya perkerasan lentur juga memiliki beberapa kelemahan. Struktur perkerasan lentur yang terdiri dari beberapa lapisan yakni lapisan permukaan.

Campuran beton aspal merupakan salah satu jenis perkerasan lentur yang banyak dipergunakan di Indonesia, salah satunya adalah Lapisan Perkerasan HRS (*Hot Rolled Sheet*). Lapisan HRS adalah campuran aspal yang dirancang dengan kadar aspal tinggi agar perkerasan mempunyai fleksibilitas tinggi, awet, dan tahan terhadap kelelahan (*fatigue*). Lapisan HRS terdiri atas agregat dan aspal sebagai bahan pengikat. Agregat terdiri dari agregat halus dan kasar yang berasal dari alam dan buatan. Semua lapisan perkerasan jalan yang menerima beban tekan harus memiliki kuat tarik dan modulus resilien.

Kuat tarik terbagi menjadi dua yaitu kuat tarik langsung dan kuat tarik tidak langsung. Kuat tarik tidak langsung merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan beban berupa tarikan yang terjadi pada arah horizontal. Uji kuat Tarik tidak langsung digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan terjadinya retakan yang terjadi pada lapis perkerasan. Modulus resilien merupakan ukuran kekakuan suatu bahan, yang merupakan modulus elastisitas. Pengujian ini digunakan untuk menyelidiki kekakuan pada campuran beton aspal.

Pasir pantai merupakan salah satu jenis material agregat halus yang memiliki ketersediaan dalam kuantitas yang besar. Pasir pantai terbentuk karena adanya proses pelapukan serta pengikisan pada batuan dan karang yang ada dipantai karena sapuan ombak, kemudian kikisan tersebut terbawa air dan mengendap di pantai. Pasir pantai merupakan bahan galian yang mengandung garam, baik yang terdeposit didarat maupun dilaut.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tarik pada lapisan HRS-WC menggunakan pasir pantai dan untuk mengetahui nilai modulus resilien pada lapisan HRS-WC menggunakan pasir pantai.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Aspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat atau tanpa bahan tambah yang dicampur, lalu dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas pada suhu tertentu (Sukirman, S. 2023). Dalam pencampuran aspal harus dipanaskan untuk memperoleh tingkat kecairan yang tinggi agar dapat mendapatkan mutu campuran yang baik dan kemudahan dalam pelaksanaan. Pemilihan jenis aspal yang akan digunakan ditentukan atas dasar iklim, kepadatan lalu lintas dan jenis konstruksi yang akan digunakan.

Material utama penyusun suatu campuran aspal sebenarnya hanya dua macam yaitu agregat dan aspal. Namun dalam pemakaiannya aspal dan agregat bisa menjadi bermacam-macam tergantung kepada metode dan kepentingan yang dituju pada penyusunan suatu perkerasan. Terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan (Rachman, R., 2020)

Lapisan Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)

Lataston atau *Hot Rolled Sheet* (HRS) adalah campuran aspal yang dirancang dengan kadar aspal tinggi agar perkerasan mempunyai fleksibilitas tinggi, awet dan tahan terhadap kelelahan (*Fatigue*) (Sukirman, S. 2023). Lapisan tipis beton aspal (Lataston = HRS) merupakan lapis permukaan yang menggunakan agregat bergradasi senjang dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm (3/4 inci). HRS (*Hot Rolled Sheet*) adalah campuran dengan bahan pembentuk berupa agregat kasar (*Coarse aggregate*), agregat halus (*fine aggregate*), bahan pengisi (*filler*) dan aspal yang pada umumnya dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas (*Hot Mix*), dengan perbandingan yang berbeda-beda. Pada campuran *Hot Rolled Sheet* diharapkan dapat memberikan tingkat fleksibilitas yang tinggi, karena menggunakan agregat kasar dalam presentase yang tidak terlalu besar, sehingga gradasinya merupakan gradasi senjang. Hal ini dimaksudkan agar penggunaan agregat kasar pada *Hot Rolled Sheet* berfungsi sebagai bahan tambahan yang dapat memberikan nilai stabilitas pada mortarnya.

Kuat Tarik Campuran (*Tensile Strength*)

Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu benda uji khususnya benda uji campuran aspal, digunakan uji *Indirect Tensile Strength* (ITS). Uji *Indirect Tensile Strength* (ITS) merupakan suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari *asphalt concrete*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak di lapangan. Nilai ITS (*Indirect Tensile Strength*) suatu campuran yang telah diuji menandakan batasan maksimum suatu campuran mampu menahan beban lalu lintas sebelum akhirnya mengalami retak akibat kegagalan tarik (Anonim. 1990). Kuat tarik tidak langsung (*Indirect tensile strength*) adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran beton aspal. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak dilapangan. Pengujian ini didasarkan pada ASTM D6931 (Anonim, 2017). Pengujian hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan hanyalah pada pada pengujian kuat tarik tidak langsung menggunakan cincin penguji namun menggunakan plat berbentuk cekung dengan lebar 72,7 mm pada bagian penekan *Marshall*.



Gambar 1. Mekanisme terjadinya beban tarik dan retakan permukaan

Beban roda kendaraan diatas struktur perkerasan sebagaimana gambar di atas menimbulkan gaya tekan ke bawah. Beban roda berhenti atau bergerak memberikan gaya tekan sehingga lapisan akan terjadi lendutan. Jika lapisan melendut maka lapisan bagian atas terjadi gaya tekan dan sebaliknya lapisan bagian bawah terjadi gaya tarik. Gaya tarik yang terjadi pada lapisan bagian bawah mengakibatkan retak. Retak terjadi dari bawah merambat ke atas. Pemberian beban akan mengakibatkan kenaikan tegangan (*stress*) yang akan diikuti pula dengan kenaikan regangan (*strain*). Pada saat tercapai suatu regangan tertentu dan benda uji mulai runtuh atau mengalami retak, berarti tegangan yang terjadi telah mencapai maksimum. Setelah itu regangan yang terjadi akan semakin besar, yang disebabkan oleh semakin turunnya ikatan dalam benda uji karena mengalami retak yang berakibat pada pecahnya benda uji.

Modulus Resilien

Modulus *resilient* adalah ukuran kekakuan suatu bahan, yang merupakan modulus elastisitas. Pengujian modulus resilien digunakan untuk menyelidiki kekakuan campuran beton aspal dilakukan dengan standar EN 12697-26, uji tes ini dilakukan dengan suhu 30 °C dengan periode waktu beban dimulai dari awal pemberian beban sampai awal berikutnya adalah 3,0 detik. Ukuran spesimen benda uji adalah 102,4 mm dan 69,3 mm dan ditempatkan diruang pada suhu tes selama 5 jam. Pengujian Modulus Resilient dilakukan dengan menggunakan alat uji kuat tarik tidak langsung, yaitu menggunakan benda uji diametral seperti benda uji *Marshall* dan dibuat pada Kadar Optimum Aspal dari masing-masing variasi pasir pantai. Persiapan benda uji campuran terdiri dari dari agregat kasar, agregat halus dan filler. Gradasi campuran pada kadar aspal optimum berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan sebelumnya dan kemudian dilakukan pencampuran dan pemadatan secara mekanis.

Modulus resilien atau modulus kekakuan dapat dihitung berdasarkan persamaan dengan persamaan berikut:

$$Sm = \frac{F \times (\mu + 0,27)}{h \times Z} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

Sm = tarik tidak langsung modulus kekakuan (Mpa)

F = beban puncak (N)

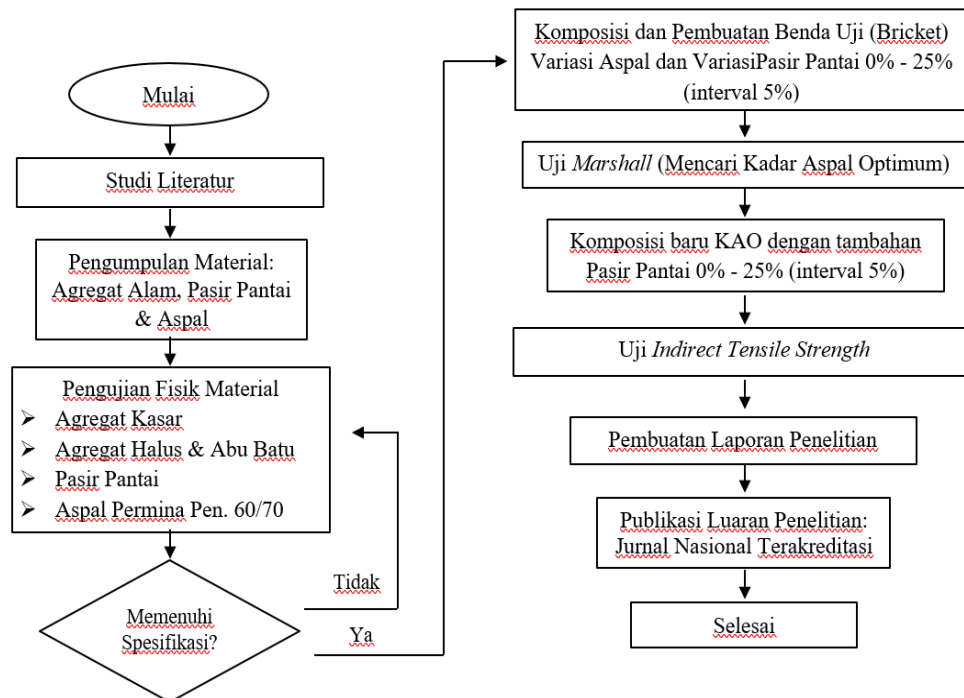
μ = rasio poisson (0,25 – 0,40)

h = tinggi benda uji (mm).

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif (*quantitative research*) dengan metode eksperimental, dimana pengambilan data-data dilakukan dari hasil pengujian laboratorium. Ada 3 pengujian utama yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu uji *Marshall* untuk penentuan kadar aspal optimum dan uji *Indirect Tensile Strength* untuk penentuan nilai kuat tarik tidak langsung dan modulus resilien campuran). Berikut tahapan penelitian dalam Gambar berikut:



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

Adapun penjelasan gambar diatas adalah sebagai berikut:

- 1) Peneliti melakukan studi literatur dan spesifikasi yang menjadi standar yang harus dicapai pada uji ini
- 2) Peneliti melakukan pengumpulan bahan-bahan, yaitu agregat alam, aspal Pertamina pen. 60/70, dan pasir pantai dari pantai Dato, Sulawesi Barat.
- 3) Uji fisik material untuk mengetahui kelayakan material, sesuai standarisasi dari Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3), Bina Marga.
- 4) Apabila material sesuai standar (layak), maka dilakukan komposisi campuran HRS-WC dengan variasi kadar aspal, tujuannya untuk mendapatkan kadar aspal optimum.
- 5) Uji *Marshall*, untuk menentukan kadar aspal optimum
- 6) Pembuatan benda uji baru, yaitu campuran dengan kadar aspal optimum (KAO) ditambah dengan substitusi pasir pantai 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%.
- 7) Uji *Indirect Tensile Strength*, untuk menentukan besar kuat tarik tidak langsung dan modulus resilien campuran.
- 8) Analisis Data

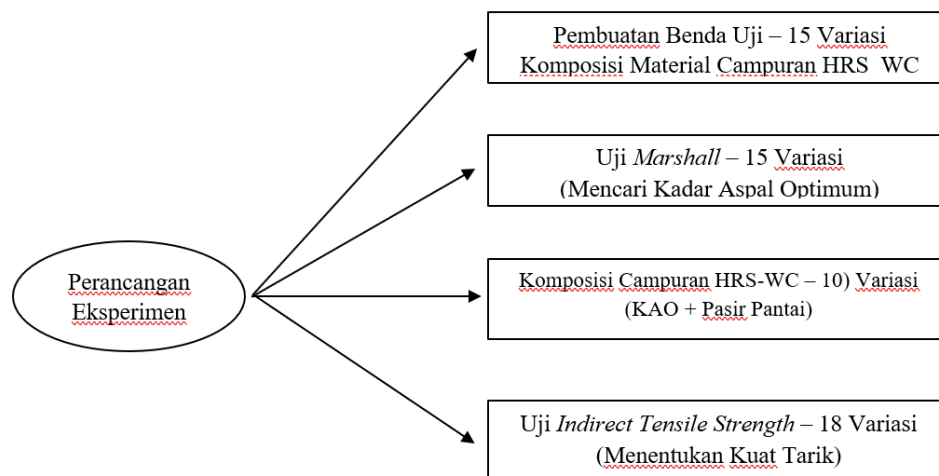
- 9) Setelah pengujian selesai, selanjutnya pembuatan laporan penelitian
- 10) Setelah pembuatan laporan penelitian, pembuatan jurnal untuk dipublikasi sebagai bentuk target luaran.

Metode Pengumpulan Data

- 1) Metode Observasi
Observasi atau pengamatan dilakukan di lapangan, untuk keperluan pengecekan dan pengambilan kebutuhan material di lapangan.
- 2) Eksperimental
Melakukan kegiatan pengujian/ percobaan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan untuk dianalisis kemudian.
- 3) Studi Pustaka
Pengumpulan data dengan cara mempelajari buku–buku, artikel, jurnal, berita, dan lain-lain yang dianggap relevan dan dapat mendukung dalam proses penelitian.

Metode Perancangan Eksperimen

Perancangan eksperimen berupa perancangan benda uji/ bricket aspal jenis HRS-WC sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3. Perancangan benda uji difokuskan pada variasi komposisi pasir pantai terhadap agregat halus. Berikut detail bagan perancangan benda uji hingga proses untuk mendapatkan kuat tarik dan modulus resilien.



Gambar 2. Diagram Perancangan Eksperimen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari batu pecah 1-2, 0,5-1, abu batu, dan pasir pantai (pantai Dato, Sulawesi Barat). Pemeriksaan yang dilakukan berupa pemeriksaan gradasi, berat jenis, berat isi, *sand equivalent*, *soundness test*, *abrasion test*, dan kelekatan agregat terhadap aspal. Berikut ini pada Tabel dibawah merupakan hasil pemeriksaan agregat:

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Agregat

No	Pengujian	Agregat			Spesifikasi
		Batu Pecah	Abu	Pasir	
		1 - 2 16%	0,5 - 1 19%	Batu 65%	
1	Ayakan (% Lolos)				
	3/4"	100	100	100	100
	1/2"	60,67	100	100	90 - 100
	3/8"	18,13	88,17	100	75 - 85
	No. 4	1,90	31,93	100	-
	No. 8	0	0,73	89,75	50 - 72
	No. 16	0	0	71,32	-
	No. 30	0	0	57,12	35 - 60
	No. 50	0	0	43,22	-
	No. 100	0	0	31,18	-
	No. 200	0	0	15,91	6 - 10
2	Berat Jenis Agregat				
	a. Bulk	2,692	2,649	2,555	2,4-2,9
	b. SSD	2,554	2,530	2,618	2,4-2,9
	c. Apparent	2,605	2,575	2,726	2,4-2,9
	d. Penyerapan	2,001	1,789	2,461	Maks. 3%
3	Berat Isi				
	a. Gembur	1,408	1,826	1,544	-
	b. Padat	1,484	2,157	1,765	-
4	Sand Equivalent				
	a. Sebelum pembebanan (%)	-	-	85,29	-
	b. Setelah pembebanan (%)	-	-	84,22	Min.50%
5	Soundness Test (%)	5,9	6,3	6,0	-
6	Los Angeles Abrasion (%)	20,46	22,43	-	-
7	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	-	-	96	-

Berdasarkan Tabel diatas, hasil pemeriksaan agregat menunjukkan batu pecah 1-2. 0.5-1, dan abu batu memenuhi seluruh pengujian karakteristik agregat yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga

Pemeriksanaan Aspal

Aspal yang digunakan adalah Aspal Pertamina Pen. 60/70. Pemeriksaan yang dilakukan berupa pemeriksaan penetrasi aspal, berat jenis, titik lembek, titik nyala dan titik bakar, serta pengujian daktilitas aspal. Pemeriksaan ini didasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Berikut ini pada Tabel 4.2 merupakan hasil pemeriksaan.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian	Spesifikasi		Hasil Pengujian
	Min.	Max.	
Penetrasi, 25°C; 100 gr; 5 detik; 0,1 mm	60	70	60,20
Titik Lembek, °C	≥ 48	-	53
Titik Nyala, °C	≥ 232	-	240
Berat Jenis Aspal Keras	≥ 1.0	-	1,181

Berdasarkan Tabel 2, hasil pemeriksaan aspal menunjukkan Aspal Pertamina Pen. 60/70 yang digunakan memenuhi seluruh spesifikasi karakteristik aspal sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2)

Hasil Pengujian Marshall (Penentuan KAO)

Pengujian Marshall bertujuan untuk menguraikan karakteristik campuran beraspal, yaitu 7 karakteristik yang harus dipenuhi oleh campuran beraspal. Karakteristik yang diuji berupa Stabilitas, *Flow*, *Void in Mixture* (VIM), *Void in Mineral Aggregates* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), *Density* dan *Marshall Quotient*. Campuran beraspal yang direncanakan adalah campuran HRS-WC sebanyak 15 buah bricket. Berikut ini merupakan hasil pengujian Marshall sesuai Tabel berikut :

Tabel 3. Hasil Uji Marshall					
Karakteristik Marshall	Variasi Kadar Aspal				
	4,5 %	5 %	5,5 %	6 %	6,5 %
Stabilitas	945,05	1040,40	1117,15	1044,49	950,04
(Kg)	Min. 600 kg				
Kelelahan/ <i>Flow</i>	2,73	2,90	3,00	3,00	3,30
(mm)	-				
Marshall Quotient	348,79	359,06	375,94	349,42	296,90
(Kg/mm)	Min. 250 kg/mm				
Rongga Dalam Agregat, VMA (%)	17,083	17,309	17,391	17,577	17,880
Rongga Dalam Campuran, VIM (%)	5,884	4,980	4,017	3,662	3,031
Rongga Terisi Aspal, VFA (%)	65,541	71,235	76,897	79,393	83,055
	Min. 68%				

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengujian Marshall dapat dijelaskan menjadi beberapa poin berikut:

1. Stabilitas campuran HRS-WC untuk seluruh variasi kadar aspal memenuhi kriteria diatas 600 kg
2. *Marshall Quotient* campuran HRS-WC untuk seluruh variasi kadar aspal memenuhi kriteria diatas 250 kg/mm
3. VMA (rongga dalam agregat) campuran HRS-WC untuk seluruh variasi kadar aspal memenuhi kriteria diatas 17%
4. VIM (rongga dalam campuran) campuran HRS-WC yang memenuhi kriteria adalah kadar aspal 5 - 6,5% dan kadar aspal 4,5% tidak memenuhi kriteria.
5. VFA (rongga terisi aspal) campuran HRS-WC yang memenuhi kriteria diatas 68% adalah kadar aspal 5 - 6,5% dan kadar aspal 4,5% tidak memenuhi kriteria.

Jadi, berdasarkan hasil pengujian Marshall, maka didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah sebesar 5,75%.

Hasil Pengujian Marshall Dengan Subtitusi Pasir Pantai

Pengujian Marshall dilakukan kembali dengan komposisi Kadar Aspal Optimum (KAO) dan substitusi pasir pantai sebanyak 18 sampel bricket. Berikut ini merupakan hasil pengujian Marshall sesuai Tabel berikut :

Tabel 4. Hasil Uji Marshall Dengan Subtitusi Pasir Pantai

Karakteristik Marshall	Variasi Pasir Pantai					
	0%	5 %	10%	15%	20%	25%
Stabilitas	842,93	947,82	1013,20	1066,24	1036,90	940,24
(Kg)	Min. 600 kg					
Kelelahan/ Flow	2,93	2,63	2,57	2,53	2,80	3,27
(mm)	-					
Marshall Quotient	288,39	360,77	395,63	421,05	371,38	288,48
(Kg/mm)	Min. 250 kg/mm					
Rongga Dalam Agregat, VMA (%)	18,602	17,909	17,507	17,392	17,802	18,152
	Min. 17%					
Rongga Dalam Campuran, VIM (%)	5,938	4,902	4,690	4,473	3,911	3,416
	3 - 5 %					
Rongga Terisi Aspal, VFA (%)	68,086	72,615	73,127	74,119	78,027	81,158
	Min. 68%					

Berdasarkan Tabel 4.4, hasil pengujian Marshall dengan substitusi pasir pantai dapat dijelaskan menjadi beberapa poin berikut:

1. Stabilitas campuran HRS-WC untuk seluruh variasi substitusi pasir pantai memenuhi kriteria diatas 600 kg
2. *Marshall Quotient* campuran HRS-WC untuk seluruh variasi substitusi pasir pantai memenuhi kriteria diatas 250 kg/mm
3. VMA (rongga dalam agregat) campuran HRS-WC untuk seluruh variasi substitusi pasir pantai memenuhi kriteria diatas 17%
4. VIM (rongga dalam campuran) campuran HRS-WC yang memenuhi kriteria adalah kadar pasir pantai 5 - 25%
5. VFA (rongga terisi aspal) campuran HRS-WC untuk seluruh variasi substitusi pasir pantai memenuhi kriteria diatas 68%.

Jadi, berdasarkan hasil pengujian Marshall, maka didapatkan Kadar Pasir Pantai Optimum (KPPO) adalah sebesar 15%..

Modulus Resilien Campuran HRS-WC Dengan Subtitusi Pasir Pantai

Uji Modulus Resilien adalah kemampuan penyebaran beban dari lapisan bituminous, hal ini mengendalikan tingkat pembebanan lalu lintas yang dihasilkan tegangan tarik dibagian bawah campuran beton aspal pada lapisan terendah yang berfungsi untuk menahan retak kelelahan. Nilai modulus resilien pada tabel 4.20 dihitung menggunakan persamaan (2.2), yaitu :

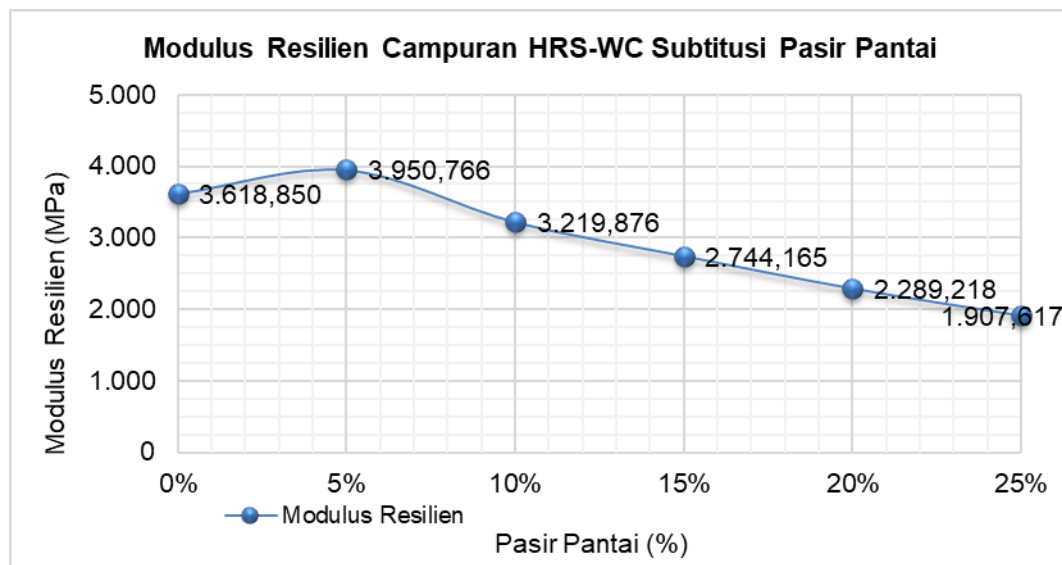
$$S_m = \frac{F \times (\mu + 0,27)}{h \times Z} = \frac{650330 \times (0,496 + 0,27)}{66,5 \times 2,07} = 3618,850 \text{ MPa}$$

Perhitungan selanjutnya di tabelkan pada tabel berikut :

Tabel 5. Rekapitulasi Perhitungan Modulus Resilien Campuran HRS-WC Dengan Variasi Subtitusi Pasir Pantai

Variasi Pasir Pantai (%)	Beban (N)	Possion Ratio, μ	$\mu + 0,27$	Deformasi Horisonta l (mm)	Tinggi (mm)	Modulus Resilien (Mpa)
0	650330	0,496	0,766	2,30	66,5	3618,850
5	686670	0,522	0,792	2,43	66,5	3950,766
10	608000	0,459	0,729	2,27	66,5	3219,876
15	556330	0,409	0,679	2,07	66,5	2744,165
20	524330	0,331	0,601	1,80	66,5	2289,218
25	489000	0,267	0,537	1,47	66,5	1907,617

Nilai Modulus resilien dari tiap-tiap variasi pasir pantai yang digunakan dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 3. Grafik Hubungan Modulus Resilien Terhadap Variasi Subtitusi Pasir Pantai

Berdasarkan Gambar 3, hubungan modulus resilien terhadap variasi subtitusi pasir pantai menunjukkan peningkatan kadar pasir pantai 0% hingga 5%. Lalu, modulus resilien campuran HRS-WC mengalami penurunan signifikan setelah penambahan kadar pasir pantai melebihi 5%. Peningkatan modulus resilien yang terjadi sebesar 9,172% dari tanpa subtitusi atau 0% pasir pantai ke 5% pasir pantai. Terdapat hubungan linear antara kuat tarik dan modulus resilien campuran, dimana pada kadar pasir pantai 5% menunjukkan masing-masing nilai maksimum. Dalam hal ini, penggunaan pasir pantai memberi pengaruh terbatas pada peningkatan modulus resilien campuran seiring bertambahnya pasir pantai.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dijelaskan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kuat tarik campuran HRS-WC meningkat sebesar 5,587%, dari 60319,23 KPa (substitusi pasir pantai 0%) menjadi 63689,20 KPa (substitusi pasir pantai 5%)
2. Modulus resilien campuran HRS-WC meningkat sebesar 9,172% dari 3618,850 MPa (substitusi pasir pantai 0%) menjadi 3950,766 MPa (substitusi pasir pantai 5%).

SARAN

1. Penelitian terkait pemanfaatan pasir pantai diharapkan dapat lebih dikembangkan untuk penelitian selanjutnya, selain dalam rangka meningkatkan karakteristik mekanis campuran beraspal, juga memanfaatkan material alam sebagai alternatif selain batu pecah
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan pasir pantai sebagai bahan campuran beraspal.

UCAPAN TERIMA KASIH

dengan terlaksananya penelitian kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Rektor Universitas Lamappapoleonro yang telah menerima penelitian ini dan memberikan dana penelitian anggaran tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1990. *The Shell Bitumen Handbook*. East Molesey Surrey: Shell Bitumen U.K.
- Anonim. 2010. Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan (Revisi 3), Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Departemen Umum. Jakarta.
- Anonim. 2017. *Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Asphalt Mixtures*, ASTM D6931-17. United States: ASTM International.
- Guo, Q., Li, L., Cheng, Y., Jiao, Y., & Xu, C. 2015. *Laboratory Evaluation On Performance of Diatomite and Glass Fiber Compound Modified Asphalt Mixture. Materials & Design (1980-2015)*, 66, 51-59.
- Hardiyatmo, H. C. 2015. Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah Edisi Ke-2. Yogyakarta: Gadjah Mada
- Kusharto, H. 2004. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Terhadap Sifat Marshall Dalam Campuran Beton Aspal. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 12(3), 91-99.
- Rachman, R. (2020). Pemanfaatan Batu Gunung Bottomale Toraja Utara sebagai Campuran Laston. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, 6(1), 20-30.
- Setiyo, G., & Wedyantadji, B. (2020). Pengaruh Pasir Pantai Sipelot Sebagai Pengganti Agregat 0/5 Campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC). *SONDIR*, 4(2), 44-52.
- Sukirman, S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Bandung: Grafika Yuana Marga.