

Analisis Peningkatan *Indirect Tensile Strength* Campuran AC-WC Dengan Limbah Batu Marmer

¹Humairah Annisa, ²Andi Muh. Hairil Anwar

^{1,2}Teknik Sipil, Universitas Lamappapoleonro

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

e-mail : ¹humairah@unipol.ac.id, ²andihairil@gmail.com

JTEKSIL

Abstrak

Kata Kunci :

Limbah batu marmer;
indirect tensile strength;
AC-WC

Industri hari ini banyak melahirkan limbah, yang biasa dikenal dengan limbah industri. Besarnya limbah industri yang dihasilkan seringkali menjadi masalah karena tidak dicarikan solusi agar digunakan kembali (*recycle*). Beberapa limbah berkategori limbah B3 (Bahan Berbahaya Beracun) sehingga tidak dapat digunakan kembali, tetapi banyak juga limbah yang masih dapat digunakan kembali. Salah satu limbah industri yang sangat potensial tetapi belum optimal penggunaannya adalah limbah industri batu marmer. Penelitian ini berfokus pada penggunaan limbah batu marmer sebagai material substitusi agregat kasar pada campuran AC-WC. Tujuan penelitian ini, yaitu mengetahui pengaruh substitusi limbah batu marmer terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC dan pengaruh substitusi limbah batu marmer terhadap *Indirect Tensile Strength* campuran AC-WC. Tahapan penelitian sebagai berikut: 1) Penelitian ini diawali dengan persiapan sampel (agregat, aspal pen. 60/70, dan limbah batu marmer), 2) Masing-masing material diuji kelayakan materialnya sesuai Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2), 3) Komposisi campuran AC-WC berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2), 4) Uji *Marshall* untuk mengetahui karakteristik campuran, 5) Komposisi campuran AC-WC baru, yaitu variasi agregat kasar (substitusi limbah marmer), halus, abu batu dan aspal untuk uji kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*), 6) Uji *Indirect Tensile Strength* (ITS) untuk mengetahui kuat tarik tidak langsung campuran. Target penelitian ini adalah meningkatkan kinerja perkerasan jalan dengan meningkatkan kuat tarik dengan substitusi limbah batu marmer. Level tingkat kesiapan teknologi (TKT) penelitian ini berada pada level 2, yaitu mencari formulasi model atau aplikasi dari teknologi limbah batu marmer pada campuran AC-WC. Target TKT selanjutnya adalah pada level 3, yaitu pembuktian konsep hasil formulasi model.

Keywords:

Marble stone waste;
indirect tensile strength;
AC-WC

Abstract

Today's industry produces a lot of waste, which is commonly known as industrial waste. The amount of industrial waste produced is often a problem because solutions are not found to be reused (recycled). Some waste is categorized as B3 waste (Toxic Hazardous Materials) so that it cannot be reused, but there is also a lot of waste that can still be reused. One of the industrial products that has potential but has not been used optimally is marble stone industry waste. This study focuses on the use of marble waste as a substitute for coarse aggregate in the AC-WC mixture. The purpose of this study was to determine the effect of marble waste substitution on the Marshall characteristics of the AC-WC mixture and the effect of marble waste substitution on the *Indirect Tensile Strength* of the AC-WC mixture. The research stages are as follows: 1) This research begins with sample preparation (aggregate, asphalt pen. 60/70, and marble waste), 2) Each material is tested for its material feasibility according to General Specifications 2018 (Revised 2), 3) Composition

AC-WC mixture based on General Specifications 2018 (Revised 2), 4) Marshall test to determine the characteristics of the mixture, 5) Composition of the new AC-WC mixture, namely variations of coarse aggregate (marble waste substitution), fine, stone ash and asphalt for strength testing Indirect Tensile Strength, 6) Indirect Tensile Strength (ITS) Test to determine the indirect tensile strength of the mixture. The target of this research is to improve the performance of the road pavement by increasing the tensile strength by substituting marble waste. The level of technological readiness (TKT) of this research is at level 2, which is looking for a model formulation or application of marble waste technology in the AC-WC mixture. The next TKT target is at level 3, namely the proof of concept of the model formulation results.

© 2022

Universitas Lamappapoleonro

PENDAHULUAN

Industri hari ini banyak melahirkan limbah, yang biasa dikenal dengan limbah industri. Besarnya limbah industri yang dihasilkan seringkali menjadi masalah karena tidak dicarikan solusi agar digunakan kembali (*recycle*). Beberapa limbah berkategori limbah B3 (Bahan Berbahaya Beracun) sehingga tidak dapat digunakan kembali, tetapi banyak juga limbah yang masih dapat digunakan kembali. Salah satu hasil industri yang sangat potensial tetapi belum optimal penggunaannya adalah limbah industri batu marmer.

Limbah batu marmer merupakan limbah yang dihasilkan pada saat proses pengolahan batu marmer yang tidak dimanfaatkan. Limbah batu marmer yang dihasilkan oleh PT. Makassar Marmer Mulia Indah yang terletak di Leang Leang, Kab. Maros Sulawesi Selatan, setiap minggunya bisa mencapai 3 meter kubik (sumber: keterangan pengelola pabrik). Selama ini, pemanfaatan limbah marmer hanya dijadikan timbunan oleh masyarakat sekitar. Dengan ini peneliti mencoba untuk memanfaatkan limbah batu marmer menjadi material perkerasan jalan, untuk mengurangi limbah batu marmer tersebut. Mengingat material agregat kasar merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, oleh karena itu peneliti mengambil limbah batu marmer sebagai alternatif bahan pengganti material agregat kasar pada campuran aspal beton.

Campuran beton aspal merupakan salah satu jenis perkerasan lentur yang banyak dipergunakan di Indonesia, salah satunya adalah AC-BC (*Asphalt Concrete - Binder Course*). Lapisan AC-BC merupakan lapisan diantara lapis pondasi (*Base Course*) dan lapis aus (*Wearing Course*) yang bergradasi rapat/menerus dan umumnya digunakan pada lalu lintas yang cukup berat.

Suatu lapisan perkerasan jalan akan mengalami dua pembebanan yaitu beban tekan dan beban tarik. Untuk mengetahui besarnya beban tarik tidak dapat dilakukan pengujian secara langsung dengan *Marshall* karena terdapat ring/cincin penahan. Padahal pada kondisi lapangan beban tarik yang sering menyebabkan retak, diawali dengan adanya retak awal (*crack initiation*) pada bagian bawah lapisan perkerasan yang kemudian akan menjalar ke permukaan.

Untuk mendapatkan gambaran pembebanan gaya tarik seperti yang terjadi di lapangan, yaitu menggunakan metode *Indirect Tensile Strength Test*. Uji kuat tarik tidak langsung pada campuran *aspal beton* adalah prosedur yang sering digunakan untuk memperkirakan

kemungkinan kinerja perkerasan dan juga untuk menentukan sifat teknik yang diperlukan untuk analisis elastis dan viskoelastis dan untuk mengevaluasi retak *thermal*, retak kelelahan, dan masalah lain yang potensial.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Aspal

Aspal beton adalah suatu lapisan pada konstruksi perkerasan jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus yang dicampur, lalu dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas pada suhu tertentu (Sukirman, S. 2003).

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. Aspal Beton atau Laston mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan-bahan lain, kemampuannya dalam mendukung beban berat kendaraan yang tinggi dan dapat dibuat dari bahan-bahan lokal yang tersedia dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca. Kekuatan utama aspal beton ada pada keadaan butir agregat. Pengalaman para pembuat aspal beton mengatakan bahwa campuran ini sangat stabil tetapi sangat sensitif terhadap variasi dalam pembuatannya dan perlu tingkat *quality control* yang tinggi dalam pembuatannya bila potensi ingin penuh terealisasi.

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 (Anonim. 2018).

Tabel 1. Persyaratan Aspal Beton

Sifat-sifat Campuran	Laston						
		Lapis Aus		Lapis Antara		Pondasi	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Jumlah tumbukan per bidang			75			112	
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.				0,6		
	Maks.				1,6		
Rongga dalam campuran (%)	Min.				3		
	Maks.				5		
Rongga dalam Agregat (VMA)(%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		65		65	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.		800			1800	
Pelelehan (mm)	Min.		2			4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.		250			300	

Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membel (refusal)	Min.	2

Kuat Tarik Campuran

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.

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

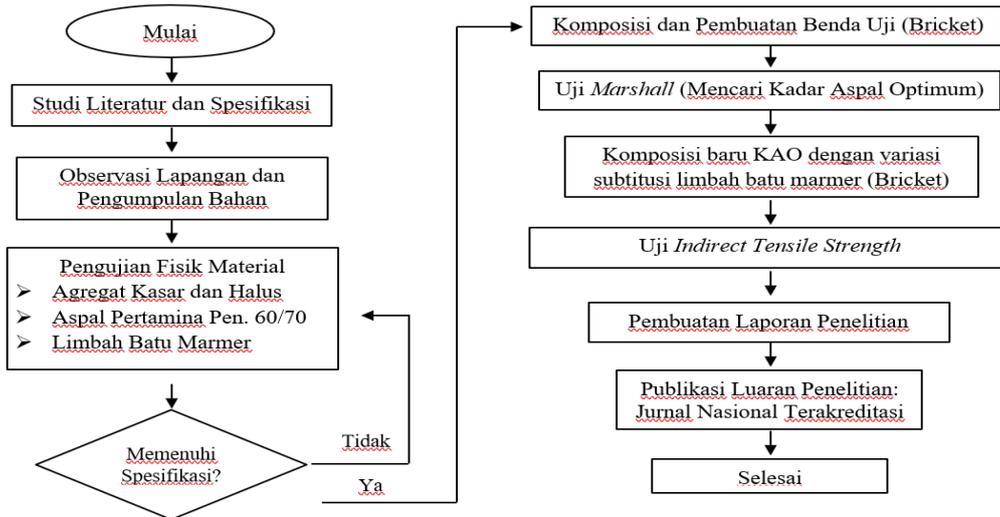
Beban roda kendaraan diatas struktur perkerasan sebagaimana gambar di atas menimbulkan gaya tekan ke bawah. Beban roda berhenti atau bergerak memberikan gaya tekan sehingga lapisan akan terjadi lendutan. Jika lapisan melendut maka lapisan bagian atas terjadi gaya tekan dan sebaliknya lapisan bagian bawah 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.

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). Berikut tahapan penelitian dalam gambar berikut:



Gambar 2. Flowchart Tahapan Penelitian

Adapun penjelasan gambar diatas sebagai berikut:

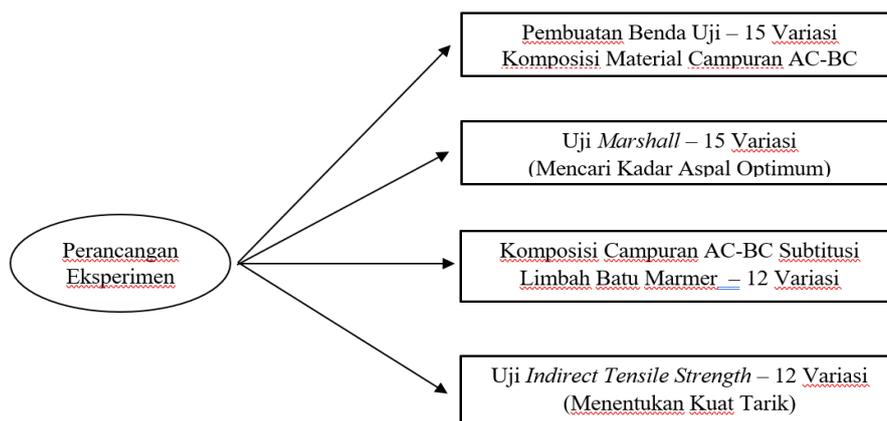
- 1) Peneliti melakukan studi literatur dan spesifikasi yang menjadi standar yang harus dicapai pada uji ini
- 2) Peneliti melakukan pengumpulan bahan-bahan, yaitu agregat alam, aspal Pertamina pen. 60/70, dan limbah batu marmer dari PT. Makassar Marmer Mulia Indah yang terletak di Leang Leang, Kab.Maros Sulawesi Selatan
- 3) Uji fisik material untuk mengetahui kelayakan material, sesuai standarisasi dari Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2), Bina Marga.
- 4) Apabila material sesuai standar (layak), maka dilakukan komposisi campuran AC-WC dengan variasi kadar aspal
- 5) Uji *Marshall*, untuk menentukan kadar aspal optimum
- 6) Pembuatan benda uji baru, yaitu campuran dengan kadar aspal optimum (KAO) dengan variasi substitusi limbah marmer sebagai agregat kasar sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, hingga 100%.
- 7) Uji *Indirect Tensile Strength*, untuk menentukan besar kuat tarik tidak langsung.
- 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 AC-WC sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Perancangan benda uji difokuskan pada variasi komposisi limbah batu marmer sebagai agregat kasar. Limbah batu marmer sebagai agregat kasar mensubstitusi batu pecah (split) 2-3, 1-2, dan 0,5-1 dengan variasi 0% hingga 100% interval 25%.



Gambar 3. Diagram Perancangan Eksperimen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah split ukuran 0,5-1, 1-2, dan 2-3. Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dengan menggunakan saringan sesuai dengan Standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 :

Tabel 2. Hasil Gradasi Agregat Kasar 1-2 cm

No. Saringan	% Lolos Saringan
	Agregat 1 – 2

3/4	(19.1 mm)	100
1/2	(12.5 mm)	74,02
3/8	(9.52 mm)	44,32
No. 4	(4.76 mm)	0
No. 200	(0.074 mm)	0
Pan		0

Pada hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar 1-2 cm persentase lolos saringan 3/4 sebesar 100%, pada saringan 1/2 sebesar 74,02% dan persentase lolos saringan 3/8 sebesar 44,32%. Sedangkan pada saringan no 4, 200 dan Pan tidak terisi oleh agregat. Untuk data hasil pemeriksaan Gradasi agregat kasar 0,5 -1 cm dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar 0.5-1 cm

No. Saringan	% Lolos Saringan	
	Agregat 0.5 – 1	
1/2 (12.5 mm)	100	
3/8 (9.52 mm)	73,29	
No. 4 (4.76 mm)	33,22	
No. 8 (2.36 mm)	1,50	
Pan	0	

Pada hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar 0.5-1 cm persentase lolos saringan 1/2 sebesar 100%, pada saringan 3/8 sebesar 73,29%, persentase lolos saringan 4 sebesar 33,22% dan persentase lolos saringan no 8 sebesar 1,50%. Sedangkan pada Pan tidak terisi oleh agregat.

Pemeriksaan Aspal

Dalam pengujian ini digunakan tipe Aspal Pertamina Penetrasi 60/70. Pengujian pada aspal yang digunakan dalam campuran harus memenuhi persyaratan spesifikasi berdasarkan tabel di bawah :

Tabel 4. Pemeriksaan Aspal Pen 60/70

Uraian	Persyaratan		Hasil Pengujian
	Min	Max	
Penetrasi 25°C;100 gr; 5 detik; 0,1 mm	60	79	60
Titik Lembek °C	≥48	-	53,25
Titik Nyala, °C	≥200	-	220
Berat Jenis	≥1.0	-	1,036
Daktalitas, 25 °C; cm	≥100	-	152,5

Pada tabel 4 diatas dapat dilihat hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70 telah memenuhi spesifikasi.

Perencanaan Desain Campuran

Prinsip penentuan proporsi agregat untuk mendapatkan gradasi gabungan yang memenuhi spesifikasi adalah sebagai berikut :

- a. Penentuan gradasi setiap fraksi yang digunakan berdasarkan persen berat lolos saringan.
- b. Dengan menggunakan metode Trial and Error dilakukan penggabungan.

- c. Agregat dan diperoleh persen proporsi masing-masing fraksi dari berat total agregat.
- d. Persen proporsi agregat masing-masing, dikalikan dengan persen lolos setiap saringan dari masing-masing fraksi dan jumlahkan untuk gradasi gabungan pada nomor saringan. Dari hasil analisa saringan, dilakukan penggabungan agregat dengan menggunakan metode Trial and Error, prinsip kerja Trial and Error adalah :
 - a. Memahami batasan gradasi yang disyaratkan.
 - b. Memasukkan data spesifikasi gradasi pada kolom spesifikasi.
 - c. Memasukkan presentase lolos saringan, masing-masing jenis batuan kedalam presentase passing.
 - d. Masukkan spesifikasi ideal yaitu nilai salah satu dari spesifikasi ideal yang disyaratkan.
 - e. Mengambil salah satu dari spesifikasi ideal dengan jenis yang ada, dalam hal agregat kasar, halus dan filler. Kemudian campuran ketiganya dengan jumlah 100 % dan nilai penggabungannya mendekati nilai spesifikasi ideal yang telah kita ambil.
 - f. Jika sudah mendekati salah satu nilai spesifikasi ideal dari ketiga agregat tadi, yang lain dihitung dengan presentase yang sama. Sehingga dapat dipergunakan sebagai gradasi untuk campuran aspal panas sebagai perkerasan jalan.

Dari hasil penggabungan agregat dengan metode Trial and error diperoleh persentase berat untuk masing-masing material sebagai berikut :

Komposisi perbandingan :

- a. Agregat kasar 1-2 = 14 %
- b. Agregat kasar 0.5 – 1 = 30 %
- c. Abu batu = 56 %

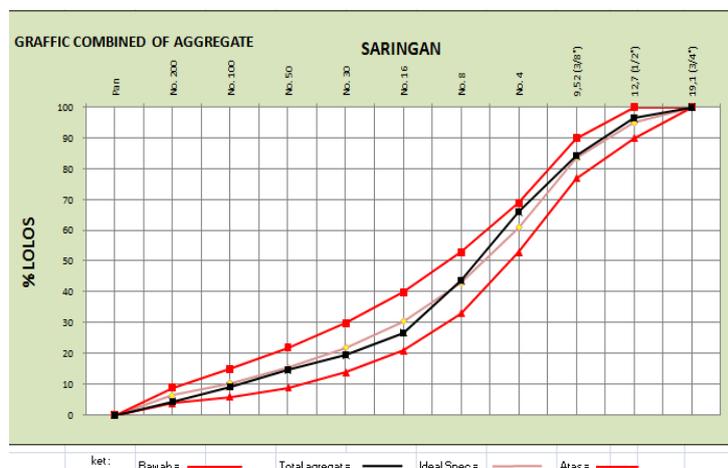
Dari proporsi diatas didapat komposisi campuran pada tiap saringan sebagai berikut :

1. Untuk saringan ¾” (19.1 mm)

- a. Agregat kasar 1-2 = 100 %
- b. Agregat kasar 0.5 – 1 = 100 %
- c. Abu batu = 100 %

Jadi komposisi campuran agregat pada saringan ¾” adalah :

- a. Agregat kasar 1-2 = 100 % x 14 % = 14 %
- b. Agregat kasar 0.5 – 1 = 100 % x 30 % = 30 %
- c. Abu batu = 100 % x 56 % = 56 %



Gambar 4. Grafik Penggabungan Agregat Campuran AC – WC

Perhitungan Fraksi Campuran

Dari hasil perhitungan penggabungan agregat dengan metode Trial and Error didapatkan perbandingan untuk masing-masing material sebagai berikut :

- a. Agregat kasar 1-2 = 14 %
- b. Agregat kasar 0.5 – 1 = 30 %
- c. Abu batu = 56 %

Tabel 5. Fraksi Campuran

No. Saringan	GRADASI (%)			GABUNGAN (%)
	Batu Pecah (1 - 2)	Batu Pecah (0,5 - 1)	Abu Batu	
19,1 (3/4")	0	0	0	0
12,7 (1/2")	3,64	0	0	3,637
9,52 (3/8")	4,16	8	0	12,172
No. 4	6,51	12	0	18,168
No. 8	0,06	9,52	12,82	22,393
No. 16	0	0,45	16,33	16,779
No. 30	0	0	7,32	7,317
No. 50	0	0	4,84	4,838
No. 100	0	0	5,44	5,443
No. 200	0	0	4,72	4,717
PAN	0	0	4,536	4,536

Pembahasan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan penggunaan kadar limbah marmer sebagai pengganti agregat kasar sangat berpengaruh terhadap campuran aspal beton. Penambahan limbah batu marmer sebagai pengganti agregat kasar dapat menurunkan kinerja suatu campuran sehingga campuran menjadi kaku dan mudah retak. Dapat dilihat pada gambar grafik 4.11, ketika suatu campuran ditambahkan beberapa persentase limbah batu marmer seperti 25% dan 50% campuran tersebut mengalami penurunan nilai ITS. Hal ini disebabkan oleh permukaan marmer yang licin menyebabkan daya rekat antar material berkurang sehingga campuran mudah retak jika diberi beban. Namun ketika marmer melebihi persentase agregat normal nilai ITS kembali meningkat. Meningkatnya nilai ITS dipengaruhi oleh sifat marmer yang heterogranular dengan tekstur interlocking dimana mineral-mineral penyusunnya saling mengikat antara satu dengan yang lainnya. Jika di bandingkan nilai ITS yang dihasilkan dengan kadar variasi 0% marmer lebih besar dari nilai ITS 100% marmer, hal tersebut dipengaruhi oleh kecilnya pori marmer sehingga kemampuan marmer menyerap aspal lebih rendah mengakibatkan campuran dengan kadar variasi 100% mengalami *bleeding* yang mengakibatkan campuran menjadi kaku dan mudah retak (dapat dilihat pada tabel 4.3 – 4.4 dan tabel 4.13 - 4.14). Rendahnya ketahanan marmer terhadap gesekan juga mempengaruhi kualitas suatu campuran (dilihat dari tabel 4.15 dan tabel 4.9) sehingga kekuatan campuran untuk memikul beban lalu lintas pun berkurang

SIMPULAN

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

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penambahan limbah batu marmer sebagai pengganti agregat kasar sangat berpengaruh terhadap campuran karena dapat menurunkan kinerja suatu campuran sehingga campuran menjadi kaku dan mudah retak. Namun ketika marmer melebihi persentase agregat normal yaitu 75% - 100 % kekuatan campuran untuk menerima beban kembali meningkat, hanya saja besarnya lebih rendah dibandingkan jika persentase agregat normal yang melebihi persentase marmer. Terjadinya peningkatan nilai ITS dipengaruhi oleh sifat marmer yang heterogranular dengan tekstur interlocking dimana mineral-mineral penyusunnya saling mengikat satu dengan yang lainnya.
2. Berdasarkan hasil analisis disimpulkan bahwa nilai kuat tarik tidak langsung (ITS) yang dihasilkan dari pengujian menggunakan agregat normal atau kadar variasi 0% marmer sebesar 15499,92 Kpa. Sedangkan nilai ITS yang dihasilkan dari pengujian menggunakan limbah marmer sebagai pengganti agregat kasar atau kadar variasi 100% marmer hanya sebesar 14321,54 Kpa. Jadi nilai ITS terbaik dihasilkan oleh kadar variasi 0% marmer.

SARAN

1. Penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meneliti lebih mendalam pengaruh penggunaan limbah batu marmer sebagai pengganti agregat kasar pada Lataston, Latasir, maupun jenis lapisan perkerasan lain dengan beban lalu lintas yang sedang.
2. Disarankan untuk peneliti selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan KAO batu marmer

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 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Amal, A. S., & Saleh, C. (2015). Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Aspal Beton terhadap Karakteristik Marshall. *Media Teknik Sipil*, 13(2).
- Amal, A. S., & Saputra, W. (2018). Pemanfaatan Limbah Abu Marmer Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) B. *Jurnal UMM*, 16(2).
- Anonim. 1990. *The Shell Bitumen Handbook*. East Molesey Surrey: Shell Bitumen U.K.
- Anonim. 2018. Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan (Revisi 2), 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.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Grafika Yuana Marga.