

Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Luar Terhadap Karakteristik *Marshall* Pada *Asphalt Treated Base* (ATB)

*Adiman Fariyadin¹, Adryan Fitrayudha¹

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram, Kota Mataram

Email: adimansipil@gmail.com; adryan@ummat.ac.id

Abstract

The basic requirements of a road construction is to prepare the surface layer of a flat and strong to ensure high security for a long time and the preservation of every detail in a variety of weather. Waste to be one of the problems facing the nation at this time. Ranging from industrial waste to the waste home. With the addition of waste tire rubber is significantly affect mixture properties such ATB Stability, Marshall Quotient, Flow and Air Voids. For ATB mix with additives outer tire rubber to rubber optimum levels (KKO) 3.85%, to produce a mixture of qualities: Marshall Stability value = 1507.7 kg, Marshall Quotient value = 5.21 kN / mm, Value Air Marshall voids = 4.86%, Value Bitumen film thickness = 8.95 mm.

Keywords: Rubber Waste, Marshall, Asphalt Tread Base

Abstrak

Persyaratan dasar dari suatu konstruksi jalan adalah menyiapkan lapisan permukaan yang rata dan kuat untuk menjamin keamanan yang tinggi untuk waktu yang lama serta pemeliharaan yang sekecil-kecilnya dalam berbagai cuaca. Limbah menjadi salah satu permasalahan serius yang di hadapi bangsa saat ini. Mulai dari limbah industri sampai limbah rumahan. Dengan adanya penambahan limbah karet ban luar sangat berpengaruh nyata terhadap sifat campuran ATB seperti *Stability*, *Marshall Quotient*, *Flow* dan *Air Voids*. Untuk campuran ATB dengan bahan aditif karet ban luar didapat kadar karet optimum (KKO) 3,85 %, dengan menghasilkan kualitas campuran: Nilai Marshall Stability = 1507,7 kg, Nilai Marshall Quotient = 5,21 kN/mm, Nilai Marshall Air Voids = 4,86 %, Nilai Bitumen film thickness = 8,95 mm.

Kata Kunci: Limbah Karet, Marshall, Asphalt Treated Base

PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, ditemukan beberapa jenis bahan yang bisa dipakai untuk pekerjaan pelapisan diantaranya *Asphalt treated Base* (ATB) (Nurul, 2018). Jalan-jalan modern yang dilengkapi dengan lapis perkerasan banyak dijumpai di kota-kota ataupun jalan akses keperkampungan dan pemukiman penduduk (Harnaeni, Lestari, Balich, & Aulia, 2022). *Asphalt Treated Base* (ATB) adalah khusus diformulasikan untuk meningkatkan keawetan dan ketahanan kelelahan. Berfungsi sebagai lapisan pondasi yang terletak di bawah lapis permukaan (Nursandah, 2019).

Limbah menjadi salah satu permasalahan serius yang di hadapi bangsa saat ini. Mulai dari limbah industri sampai limbah rumahan (Jatmiko & S, 2019). Tetapi tidak semua limbah mengganggu kenyamanan hidup masyarakat. Banyak sekali limbah-limbah yang dimanfaatkan untuk keperluan yang bermanfaat bagi kehidupan masyarakat luas. Salah satunya adalah limbah ban karet (Martina, Hasan, & Setiawan, 2019). Limbah ban karet sudah banyak di olah menjadi barang-barang yang bisa digunakan. Contohnya dimanfaatkan untuk pembuatan sandal bandol, digunakan untuk pelampung di kolam renang ataupun pantai, bahkan penggunaan ban karet luar untuk pengaman dinding sirkuit balapan (Gu, Ma, West, Taylor, & Zhang, 2019).

Studi ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui atau mendapatkan beberapa hal, antara lain Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah karet ban Luar terhadap karakteristik *marshall* pada campuran ATB (*Asphalt Treated Base*) Kemudian untuk mengetahui kadar

karet optimum (KKO) setelah pengujian *marshall* terhadap kekuatan campuran aspal panas (ATB) yang telah dicampur beberapa variasi campuran limbah karet.

Limbah Karet Ban Luar

Menurut Weimintoro et al., (2022) pedoman penggunaan aspal karet luar campuran beraspal secara panas karet alam aslinya diperoleh dalam bentuk lateks yaitu berupa emulsi yang mengandung kira-kira 30% berat karet (Muslimin, Eding Iskak Imananto, & Munasih, 2022). Lateks ini dipekatkan dengan cara pemusingan (*centrifugal*) sehingga menghasilkan lateks pekat yang mengandung kira-kira 60% kadar karet kering (*dry rubber*) (Syahrul & Rahadi, 2022)

Aspal

Menurut Sukirman (2003), Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat yang terdiri dari hydrocarbons atau turunannya terlarut dalam trichloro-ethylene dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan.

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut penyelubung agregat dalam bentuk tebal film aspal yang berperan menahan gaya geser permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang lebih lanjut, juga berarti mengurangi penetrasi air dalam campuran. Pemeriksaan aspal tersebut terdiri dari:

- Pemeriksaan Penetrasi
- Pemeriksaan Titik Lembek
- Pemeriksaan Titik Nyala
- Pemeriksaan Kehilangan Berat
- Pemeriksaan Daktilitas Aspal

- Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Campuran ATB

Menurut Sutrisno et al., (2021)., campuran ini mengikuti trend perkembangan metode perencanaan campuran beraspal yang berorientasi pada kinerja. Penyempurnaan spesifikasi campuran beraspal terutama diarahkan untuk mengantisipasi kerusakan berupa deformasi plastis

Lapisan aspal yang baik haruslah memenuhi 4 syarat yaitu stabilitas, durabilitas, kelenturan (fleksibilitas) dan tahanan geser (Bessoran, Alpius, & Sanggaria, 2021), jika memakai gradasi rapat (*densgraded*) akan menghasilkan kepadatan yang baik tetapi mempunyai rongga yang kecil sehingga memberikan kelenturan (fleksibilitas) yang kurang baik dan akibat tambahan pemadatan dari beban lalu lintas berulang serta aspal yang mencair akibat pengaruh cuaca akan memberikan tahanan geser yang kecil (Pramono, Karminto, 2020).

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa haruslah ditentukan campuran antara agregat dan aspal seoptimal mungkin sehingga dihasilkan lapisan perkerasan dengan kualitas yang seoptimal mungkin. Dengan kata lain haruslah direncanakan campuran yang meliputi gradasi agregat (dengan juga memperhatikan mutu agregat) dan kadar aspal sehingga dihasilkan lapisan perkerasan yang dapat memenuhi ke 4 syarat di atas yaitu :

- Kadar aspal cukup memberikan kelenturan.
- Stabilitas cukup memberikan kemampuan memikul beban sehingga tak terjadi deformasi yang rusak.
- Kadar rongga cukup memberikan kesempatan untuk pemadatan tambahan akibat beban berulang dan *flow* dari aspal.
- Dapat memberikan kemudahan kerja tak terjadi segregasi.
- Dapat menghasilkan campuran yang akhirnya menghasilkan lapis perkerasan pada tahap perencanaan.

Dengan demikian faktor yang mempengaruhi kualitas dari aspal beton adalah:

- Absorsi aspal.
- Kadar aspal efektif.
- Rongga antar butir (VMA).
- Rongga udara dalam campuran (VIM).
- Gradasi agregat.

METODE

Metode penelitian ini mengacu pada penelitian eksperimental di laboratorium. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian benda uji normal (tanpa bantalan karet) yang kemudian akan dibandingkan dengan variable benda uji dengan campuran limbah karet ban luar dengan variasi 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Masing-masing benda ujia akan dilakukan pengujian *Marshall* guna mengetahui sejauh mana pengaruh bantalan karet terhadap kadar aspal optimum (KAO) benda uji. Standar pengujian *Marshall* yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D1559.

Populasi dan Sampel

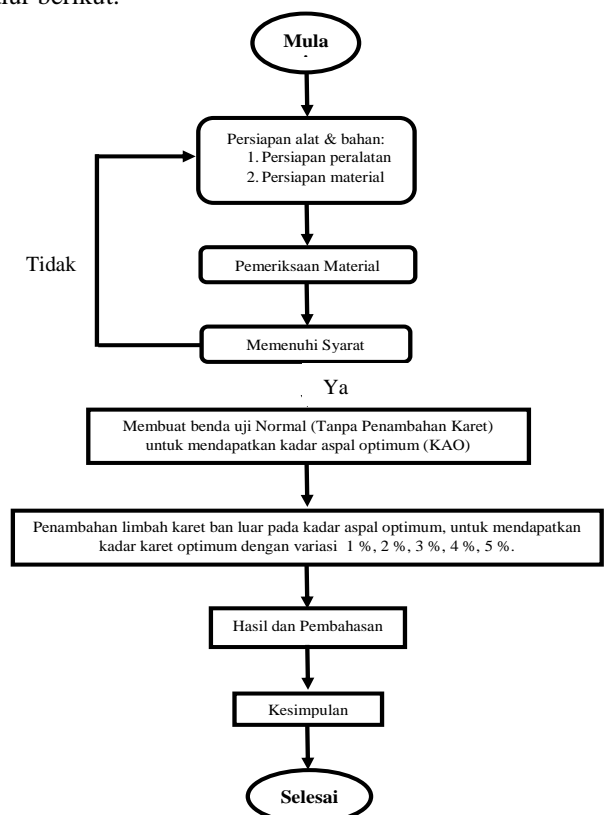
Populasi adalah seluruh obyek yang akan diteliti. Pada penelitian ini benda uji secara keseluruhan dapat disebut populasi. Benda uji yang mewakili sebagian dari anggota populasi disebut sampel (Martina et al., 2019) . Populasi benda uji pada penelitian ini dibagi dalam 6 kelompok sebagai berikut:

- Kelompok A : Benda uji dengan kadar limbah karet ban luar 0 %.
- Kelompok B : Benda uji dengan kadar limbah karet ban luar 1 %.
- Kelompok C : Benda uji dengan kadar limbah karet ban luar 2 %.
- Kelompok D : Benda uji dengan kadar limbah karet ban luar 3 %.
- Kelompok E : Benda uji dengan kadar limbah karet ban luar 4 %.
- Kelompok F : Benda uji dengan kadar limbah karet ban luar 5 %

Teknik Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sample yang dilaksanakan adalah random sampling yang secara lengkap menyatakan pengambilan sample benda uji harus dipilih secara acak (Trisianto, 2011).

Secara umum skema penelitian terkait pengaruh penambahan limbah karet terhadap karakteristik *marshall* pada asphalt treated base (ATB) ditunjukkan pada diagram alur berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Dari hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar didapatkan hasil sebagai berikut:

- Berat jenis (atas dasar kering oven) rata-rata = 2,65%
- Berat jenis (atas dasar kering permukaan) rata-rata = 2,70%
- Berat jenis semu rata-rata (min 2,5) = 2,79%
- Penyerapan air rata-rata (maks 3 %) = 1,93%

Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pasir Alam

Dari hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus didapatkan hasil sebagai berikut:

- Berat jenis (atas dasar kering oven) rata-rata = 2.50%
- Berat jenis (atas dasar kering permukaan) rata-rata = 2.52%
- Berat jenis semu rata-rata (min 2.5) = 2.61%
- Penyerapan air rata-rata (maks 3%) = 1.24%

Abu Batu

- Berat jenis (atas dasar kering oven) rata-rata = 2,50%
- Berat jenis (atas dasar kering permukaan) rata-rata = 2,53%
- Berat jenis semu rata-rata (min 2,5) = 2.62%
- Penyerapan air rata-rata (maks 3%) = 2.25%

Dari hasil pemeriksaan dan analisis *Sand Equivalent* Pasir Alam menghasilkan nilai rata-rata *Sand Equivalent* 90 % (batas minimum 50%) dan untuk abu batu menghasilkan nilai rata-rata *Sand Equivalent* 83.05% (batas minimum 50%).

Hasil Pemeriksaan Aspal

Aspal yang dipakai sebagai bahan pengikat adalah aspal penetrasi 80/100 dari Pertamina, kemudian setelah dilakukan pemeriksaan didapatkan hasil sebagai berikut:

- Penetrasi 88,33 mm
- Titik leleh 48,08°C
- Titik nyala 294,5°C
- Daktilitas 119,33 cm
- Berat Jenis 1,027 gr

Berdasarkan data pemeriksaan aspal tersebut, tahap selanjutnya adalah menentukan campuran nominal untuk ATB. Campuran nominal ATB direncanakan dengan mengambil nilai tengah dari batas-batas spesifikasi yang ditetapkan panduan ATB beserta dengan prasyarat sifat campurannya, sehingga diperoleh proporsi campuran sebagai berikut:

- Fraksi agregat kasar (CA) = 50%
- Fraksi agregat halus (FA) = 38%
- Fraksi bahan pengisi = 6%
- Kadar aspal = 6%

Hasil Penelitian Kadar Aspal Optimum ATB Penetrasi 80/100

Sebelum pembuatan benda uji campuran aspal ATB penetrasi 80/100 dan untuk mengetahui pengaruh penambahan karet ban luar, maka dicari terlebih dahulu kadar aspal optimumnya, yang mana variasi kadar aspal yang dipakai adalah 4.25%, 5.25%, 6.25%, 7.25%, 8.25% dari keseluruhan berat agregat.

Hasil Pemeriksaan Campuran Aspal Marshall

Hasil pemeriksaan variable benda uji secara rinci disajikan pada Tabel 1 Hasil pemeriksaan Campuran Aspal dengan Alat Marshall. Berdasarkan tabel di bawah dengan menggunakan parameter *Marshall*, dapat digambarkan hubungan kadar aspal dengan parameter *Marshall*, dan selanjutnya dapat menentukan kadar aspal optimum yaitu dengan cara menempatkan batas-batas spesifikasi campuran aspal. Adapun nilai kadar aspal optimum yang diperoleh adalah sebesar 6,5 %.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Campuran Aspal Dengan Alat Marshall

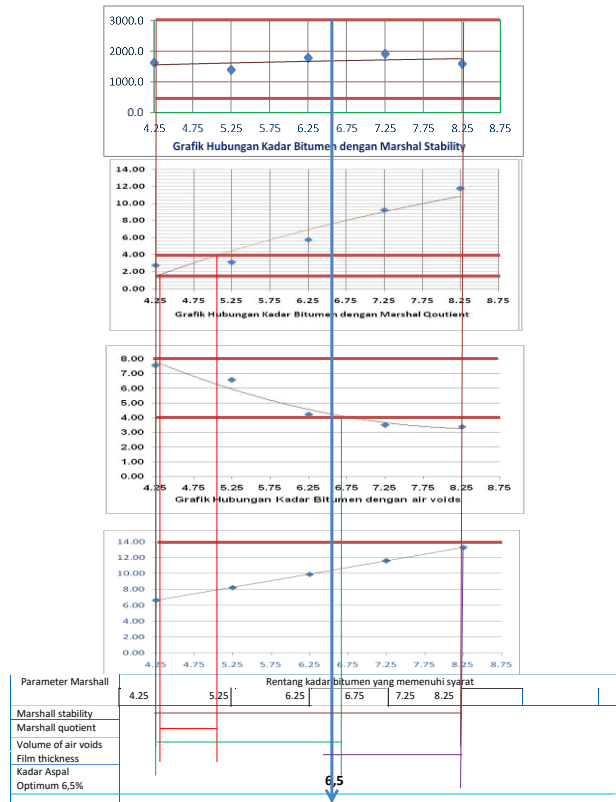
No Benda Uji	Tinggi (cm)	Berat Benda Uji			Diameter Benda Uji (cm)	Volume Benda Uji (cm³)	Bacaan Alat Marshall		Angka Korelasi	Angka Kalibrasi	Stabilitas Disesuaikan
		BKU	BDA	BKP			Stabilitas	Flow			
1A	6.35	1155.7	670	1232	9.70	469.4	61	670	1.19	33.2502	1094.82
1B	6.22	1188.7	675	1154.8	9.60	450.4	120	440	1.25	33.4177	2273.74
1C	6.13	1167.7	665	1165	9.65	448.5	80	470	1.25	33.3041	1510.68
2A	6.02	1142.3	690	1194.5	9.80	454.3	75	390	1.25	33.2899	1415.65
2B	6.13	1179	710	1208.5	9.75	457.9	72	330	1.19	33.2814	1293.46
2C	6.09	1154.2	680	1200.5	9.85	464.3	82	360	1.19	33.3098	1474.37
3A	6.25	1180.2	665	1164.7	9.90	481.3	95	460	1.14	33.3467	1638.15
3B	6.12	1158.3	670	1174.9	9.80	461.8	115	150	1.19	33.4035	2073.53
3C	6.35	1168.3	660	1175.7	9.95	494.0	100	350	1.09	33.3609	1649.44
4A	6.19	1182.8	668	1245.6	9.85	471.9	150	230	1.14	26.4365	2050.56
4B	6.11	1108.8	665	1135.6	9.70	451.7	111	270	1.25	28.7468	1809.24
4C	6.11	1158.6	675	1143.5	9.60	442.4	113	250	1.32	28.6283	1936.96
5A	6.29	1233.1	697	1207.2	9.65	460.2	112	204	1.19	28.6876	1734.33
5B	6.43	1111.1	695	1217.1	9.70	475.4	98	50	1.14	29.5169	1495.81
5C	6.25	1133.1	715	1219.3	9.80	471.6	105	75	1.14	29.1023	1580.13

Sumber: diuji oleh peneliti

Berdasarkan hasil pemeriksaan campuran aspal pada tabel di atas, dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada masing-masing benda uji dengan variable campuran berbeda memiliki nilai yang cukup signifikan antar satu dengan yang lainnya.

Dengan menggunakan grafik parameter hubungan kadar aspal dengan marshall pada Gambar 2 berikut maka dapat ditentukan besarnya nilai kadar aspal optimum dengan menarik garis lurus diantara ke empat grafik yang telah ditentukan sebelumnya.

Berikut grafik penentuan kadar aspal optimum seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Grafik Menentukan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan grafik pada gambar 2 di atas dengan menggunakan parameter *Marshall*, dapat digambarkan hubungan kadar aspal dengan parameter *Marshall*, dan selanjutnya dapat menentukan kadar aspal optimum yaitu dengan cara menempatkan batas-batas spesifikasi campuran aspal. Adapun nilai kadar aspal optimum yang diperoleh adalah 6,5 %.

Pemeriksaan Sifat Campuran Menggunakan Aspal Optimum

Kadar aspal optimum yang diperoleh adalah 6,5 % . Agar campuran total tetap 100%, maka proporsi abu batu dan pasir perlu disesuaikan. Hasil pemeriksaan sifat campuran aspal optimum ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Proporsi Campuran ATB Karet

MATERIAL	Campuran Nominal Perhitungan	Kadar Karet				
		1	2	3	4	5
Batu Pecah	51.84%	51.84%	51.84%	51.84%	51.84%	51.84%
Abu Batu	10.85%	10.85%	10.85%	10.85%	10.85%	10.85%
Pasir Alam	26.56%	26.56%	26.56%	26.56%	26.56%	26.56%
Bahan Pengisi	4.75%	4.75%	4.75%	4.75%	4.75%	4.75%
Aspal (A)	6.50%	6.43%	6.37%	6.31%	6.24%	6.17%
Kadar Karet	0%	0.07%	0.13%	0.19%	0.25%	0.31%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Sumber: diuji oleh peneliti

Gradasi lengkap campuran nominal dapat ditentukan. Karena gradasi dinyatakan dalam persen

terhadap berat agregat total, maka proporsi seperti dalam campuran nominal harus dinaikkan dengan mengalikan suatu faktor.

$$\text{Faktor Pengali} = \frac{100}{100 - \text{Aspal}} \times \text{Campuran disesuaikan}$$

Selanjutnya hasil proporsi campuran gradasi Agregat ATB Karet ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Proporsi Campuran Agregat ATB Karet

MATERIAL	Proporsi Campuran Agregat (%)				
	1	2	3	4	5
Batu Pecah	55.41	55.37	55.33	55.29	55.25
Abu Batu	12.66	12.12	11.58	11.04	10.50
Pasir	29.45	28.90	28.35	27.79	27.24
Bahan Pengisi	5.08	5.07	5.07	5.07	5.06
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Sumber: diuji oleh peneliti

Berdasarkan data-data pada tabel di atas selanjutnya proporsi campuran agregat dipergunakan untuk memperhitungkan gradasi agregat kombinasi beserta luas permukaan agregat total (*total aggregate surface area*). Dengan menggunakan parameter *Marshall*, dapat digambarkan hubungan kadar karet dengan parameter *Marshall*, dan selanjutnya dapat menentukan kadar karet optimum yaitu dengan cara menempatkan batas-batas spesifikasi campuran aspal, Adapun nilai kadar karet optimum yang diperoleh adalah 3,85%.

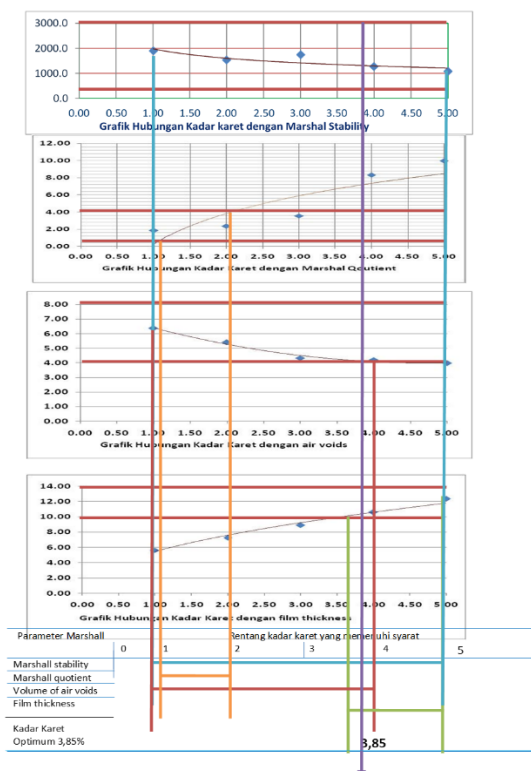
Hasil pemeriksaan campuran aspal dengan alat *marshall* selanjutnya ditunjukkan pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Campuran Aspal Karet Dengan Alat Marshall

No Benda Uji	Tinggi (cm)	Berat Benda Uji			Diameter Benda Uji (cm)	Volume Benda Uji (cm ³)	Bacaan Alat Marshall		Angka Korelasi	Angka Kalibrasi	Stabilitas Disesuaikan
		BKU	BDA	BKP			Stabilitas	Flow			
1A	6.10	1198	719	1190	10.20	498.6	105	105	1.04	33.3751	1653.17
1B	6.00	1199	713	1207	10.20	490.5	140	124	1.09	33.4745	2317.08
1C	5.97	1187	710	1187	10.20	488.0	110	115	1.04	33.3893	1732.63
2A	5.93	1180	697	1176	10.20	484.8	95	135	1.09	33.3467	1566.30
2B	6.05	1190	704	1194	10.20	494.6	91	111	1.09	33.3354	1499.84
2C	5.95	1178	694	1189	10.20	486.4	93	105	1.09	33.3410	1533.07
3A	5.90	1170	688	1169	10.20	482.3	110	110	1.14	33.3893	1899.23
3B	6.15	1177	689	1184	10.20	502.7	101	160	1.04	33.3637	1589.65
3C	6.10	1176	670	1175	10.20	498.6	111	125	1.04	33.3921	1748.53
4A	5.97	1163	685	1160	10.20	488.0	90	110	1.09	29.9908	1334.54
4B	5.90	1174	696	1181	10.20	482.3	76	56	1.14	30.8202	1211.23
4C	5.96	1168	686	1176	10.20	487.2	86	98	1.09	30.2278	1285.30
5A	5.95	1168	692	1174	10.20	486.4	73	108	1.09	30.9979	1118.81
5B	5.98	1166	693	1169	10.20	488.8	52	170	1.09	32.2419	828.94
5C	5.98	1171	715	1187	10.20	488.8	87	98	1.09	30.1686	1297.70

Sumber: hasil penelitian dan perhitungan

Dengan menggunakan parameter *Marshall*, dapat digambarkan hubungan kadar karet dengan parameter *Marshall*, dan selanjutnya dapat menentukan kadar karet optimum yaitu dengan cara menempatkan batas-batas spesifikasi campuran aspal, seperti yang disajikan pada gambar Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Grafik Menentukan Kadar Karet Optimum

Berdasarkan grafik Pemeriksaan Marshall Karet diketahui Kadar Karet Optimum 3,85%, dan nilai parameter marshall diketahui kualitas campuran aspal sebagai berikut:

- Nilai Marshall Stability = 1507,7 kg
- Nilai Marshall Quotient = 5,21 kN/mm
- Nilai Air Voids = 4,86 %
- Nilai film thickness = 8,95 Mm

Berdasarkan hasil pemeriksaan nilai Stabilitas diperoleh bahwa limbah karet ban luar sebagai pengganti aspal pada campuran Aspal Treated Base (ATB) menghasilkan stabilitas 1507,7 Kg, mengalami penurunan dari hasil campuran tanpa menggunakan limbah karet ban luar 1668,7 Kg. Hasil pemeriksaan diperoleh bahwa dengan penambahan limbah karet ban luar sebagai pengganti aspal pada campuran Aspal Treated Base (ATB) menghasilkan Marshall Quotient 5,21 Kn/mm mengalami penurunan dari hasil yang tanpa menggunakan limbah karet ban luar 6,53 kN/mm. Berdasarkan hasil pemeriksaan setelah adanya penambahan limbah karet ban luar pada campuran Aspal Treated Base (ATB) mengalami penurunan persentase rongga udara. Pada campuran normal didapatkan persentase rongga udara sebesar 5,04%, dan setelah menggunakan bahan tambahan limbah karet ban luar didapatkan persentase rongga udara sebesar 4,86%. Hal ini dikarenakan karet ban luar memiliki kecenderungan memperbaiki dan mengurangi rongga udara sehingga didapat campuran yang kepadat air dan tidak mudah rapuh. Hasil pemeriksaan diperoleh nilai film thickness cenderung tidak mengalami perubahan, dari sebelum adanya penambahan limbah karet

ban luar dengan campuran *Aspal Treated Base* (ATB) normal didapatkan nilai film thickness sebesar 8,95 Mm.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dengan alat *marshall* diketahui bahwa penggunaan limbah karet ban luar sebagai pengganti aspal memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik *Marshall* pada *Aspal Treated Base* (ATB). Kemudian untuk campuran ATB dengan bahan aditif karet ban luar didapat kadar karet optimum (KKO) 3,85% dengan menghasilkan kualitas campuran aspal sebagai berikut:

- Nilai Marshall Stability = 1507,7 kg
- Nilai Marshall Quotient = 5,21 kN/mm
- Nilai Air Voids = 4,86 %
- Nilai film thickness = 8,95 Mm

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan Trimakasih kepada prodi Teknik sipil yang telah mensupport sehingga artikel ini dapat terselsaikan dengan baik, terimakasih juga kepada Universitas Muhammadiyah Mataram Sebagai tempat kami bernaung.

DAFTAR PUSTAKA

- Bessoran, O. I., Alpius, & Sanggaria, O. J. (2021). Karakteristik Campuran AC-WC Menggunakan Bahan Tambah Limbah Ban Bekas. *Paulus Civil Engineering Journal*, 3(3), 379–387. Retrieved from <http://ojs.ukipaulus.ac.id/index.php/pcej/article/view/289>
- Gu, F., Ma, W., West, R. C., Taylor, A. J., & Zhang, Y. (2019). Structural performance and sustainability assessment of cold central-plant and in-place recycled asphalt pavements: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1513–1523. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.222>
- Harnaeni, S. R., Lestari, P. R., Balich, R. P., & Aulia, G. (2022). Komparasi Karakteristik Marshall AC-BC dengan Penggunaan Limbah Ban Luar dan Limbah Steel Slag sebagai Pengganti Agregat Kasar. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 6(2), 211. <https://doi.org/10.30595/jrst.v6i2.15355>
- Jatmiko, M., & S, A. M. (2019). Pengujian Marshall HRS-WC Dengan Campuran Serbuk Ban Luar. *Jurnal Sondir*, 2, 1–5.
- Martina, N., Hasan, M. F. R., & Setiawan, Y. (2019). Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus Pada Campuran Aspal Porous. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 24(2), 144. <https://doi.org/10.32497/wahanats.v24i2.1731>
- Muslimin, Eding Iskak Imananto, & Munasih. (2022). Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Jati Sebagai Material Pengisi Pada Campuran Asphalt Treated Base (Atb) Ditinjau Dari Uji Marshall. *Sondir*, 6(1), 38–45. <https://doi.org/10.36040/sondir.v6i1.5172>
- Nursandah, F. (2019). Laston Ac-Wc Terhadap Karakteristik Marshall. *International Journal of*

- Engineering Applied Sciences and Technology*, 4(2), 262–267.
- Nurul, M. S. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Vulkanisir terhadap Karakteristik Marshall dan Durabilitas Campuran. *Prosiding Seminar Nasional II Hasil Litbangyasa Industri*, (September), 87–95.
- Pramono, Karminto, S. A. L. (2020). Pengaruh Penggunaan getah Karet Terhadap Stabilitas Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete-Base. *Jurnal Inersia*, XII(1), 44–50.
- Sabilla, A. A., Lubis, Z., Teknik, F., Studi, P., Sipil, T., Lamongan, U. I., & Dalam, L. B. (2021). *Penggunaan Limbah Ban Dalam Sepeda Motor Dalam Campuran Aspal Ac-Wc*. 7(September), 110–118.
- Sutrisno, R., Iskak Imananto, E., & Erfan, M. (2021). Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar 10/10 Pada Lapisan Atb (Asphalt Treated Base) Terhadap Karakteristik Marshall. *Sondir*, 5(2), 16–22.
<https://doi.org/10.36040/sondir.v5i2.4196>
- Syaharul, & Rahadi. (2022). CAMPURAN PERKERASAN ASPHALT TREATED BASE (ATB) DENGAN SPLIT SENDAWAR DAN PASIR PALU. *Keilmuan Teknik Sipil*, 5, 131–139.
- Trisianto, A. B. (2011). *Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Kelas B. 9*, 2.
- Weimintoro, A., Ahmad, R. K., Farid, A., & Salsabila, N. S. (2022). Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Sebagai Substitusi Sebagian Kadar Aspal Terhadap Stabilitas AC-BC Dengan Metode Marshall Test. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 25–30. Retrieved from
http://ejournal.unira.ac.id/index.php/jurnal_rekayasa_teknik_sipil/article/view/1558