

PEMANFAATAN LIMBAH PERKERASAN ASPAL (*RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT*) SEBAGAI BAHAN PENGGANTI AGREGAT 5 – 10 PADA CAMPURAN HRS-BASE (*HOT ROLLED SHEET-BASE*) TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Teguh Setiawan¹, Ir. Eding Iskak Imananto, MT.², Mochammad Erfan, S.T., M.T.³

¹²³⁾ *Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: 1921101.pradataachlam@gmail.com

ABSTRACT

Highways are very important in an area because they are one of the main means of transportation, namely land transportation, from one area to another area connected by roads. With well-designed roads, regional economic productivity can develop, one of the hot mix layers that can help facilitate land transportation is HRS-BASE. The function of HRS-BASE itself is to cover the entry of water into pavement construction, considering that Indonesia itself is a country that has high rainfall which makes asphalt break down quickly. The use of asphalt as a highway pavement material also has a negative impact, one of the negative impacts is the presence of asphalt waste (Reclaimed Asphalt Pavement). Asphalt waste is produced as a result of road maintenance, repair and reconstruction. The test specimens were prepared starting with variations of 0%, 25%, 50%, 75%, 100% with the Marshall test results showing that the levels of all mixed variations met the 2018 division 6 Highways specifications, KAO normal aggregate had a value of 6.43%. Because the variation from 0% to 100% is sufficient for the values of stability, flow, VIM, VMA, VFA, MQ, and volume weight. The results of Marshall characteristics were 1027.89 kg, flow 3.73 mm, 4.22%, 17.30%, 75.60%, 275.77 kg/mm and volume weight 2.282 gr/cm³. The suggestions are as follows: 1. Need for further research by looking for KAO (optimum asphalt content) between variations (Reclaimed Asphalt Pavement), 2. Need research with the role (Reclaimed Asphalt Pavement) as a substitute for aggregate 10 - 10 or as a substitute for 0 - 5.

Keywords: Reclaimed Asphalt Pavement; HRS-BASE; Agregate 5-10; Marshall Characteristics

ABSTRAK

jalan raya sangat penting pada suatu daerah karna merupakan salah satu sarana transportasi utama yaitu transportasi darat, dari satu daerah kedaerah lain dihubungkan dengan jalan raya. Dengan adanya jalan yang dirancang dengan baik, produktifitas ekonomi daerah dapat berkembang, salah satu lapisan *hotmix* yang dapat membantu memudahkan transportasi darat yaitu *HRS-BASE*. Fungsi dari *HRS-BASE* sendiri yaitu sebagai penutup masuknya air kedalam konstruksi perkerasan, mengingat di Indonesia sendiri merupakan negara yang mempunyai curah hujan tinggi yang membuat aspal cepat rusak. penggunaan aspal sebagai bahan perkerasan jalan raya juga mempunyai dampak negatif, salah satu dampak negatifnya adalah dengan adanya limbah aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*) limbah aspal dihasilkan dari hasil pemeliharaan, perbaikan dan rekonstruksi jalan. Benda uji yang disiapkan mulai dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dengan hasil uji *Marshall* menunjukkan bahwa kadar seluruh variasi campuran memenuhi spesifikasi bina marga 2018 divisi 6, KAO agregat normal mempunyai nilai 6,43 %. Dikarnakan mulai variasi 0 % sampai dengan 100 % memenuhi untuk nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, MQ, dan Berat Volume. Hasil dari karakteristik *Marshall* 1027,89 kg, flow 3,73 mm, 4,22%, 17,30%, 75,60%, 275,77kg/mm dan berat Volume 2,282 gr/cm³. Adapun saran sebagai berikut : 1. Perlu penelitian lanjutan dengan mencari KAO (kadar aspal optimum) antar variasi (*Reclaimed Asphalt pavement*), 2. Perlu penelitian dengan peranan (*Reclaimed Asphalt pavement*) sebagai pengganti agregat 10 - 10 atau sebagai pengganti 0 – 5.

Kata kunci: *Reclaimed Asphalt Pavement*; *HRS-BASE*; Agregat 5-10; Karakteristik *Marshall*.

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia sudah sejak dulu menggunakan infrastruktur jalan raya, infrastruktur jalan raya sangat penting pada suatu daerah karna merupakan salah satu sarana transportasi utama yaitu

transportasi darat, dari satu daerah kedaerah lain dihubungkan dengan jalan raya.

salah satu lapisan *hotmix* yang dapat membantu memudahkan transportasi darat yaitu *HRS-BASE*. Fungsi dari *HRS-BASE* sendiri yaitu sebagai

penutup masuknya air kedalam konstruksi perkerasan, mengingat di Indonesia sendiri merupakan negara yang mempunyai curah hujan tinggi yang membuat aspal cepat rusak. Pentingnya keberadaan jalan raya bagi perekonomian suatu daerah maka pemerintah terus meningkatkan pembangunan infrastruktur jalan raya, dalam hal ini berhubungan dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur maka semakin meningkat juga jumlah kebutuhan agregat dan aspal dalam proses pembangunan.

Namun dalam penggunaan aspal sebagai bahan perkerasan jalan raya juga mempunyai dampak negatif, salah satu dampak negatifnya adalah dengan adanya limbah aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*) limbah aspal dihasilkan dari hasil pemeliharaan, perbaikan dan rekonstruksi jalan. Biasanya limbah aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*) yang dihasilkan di gunakan sebagai urugan suatu pekerjaan atau di buang.

pada penelitian ini membahas **PEMANFAATAN LIMBAH PERKERASAN ASPAL (RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT) SEBAGAI BAHAN PENGGANTI AGREGAT 5 - 10 PADA CAMPURAN HRS-BASE (HOT ROLLED SHEET - BASE) TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL**

2. TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Aspal

Secara umum aspal adalah material perekat berwarna hitam atau coklat tua (Sukirman, 2016) Aspal sebagai pengikat (*binder*) adalah material alami yang berwarna hitam kecoklatan, jika aspal di panaskan pada suhu tertentu maka aspal dapat mencair dan dapat dicampurkan dengan agregat,

Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan (SNI 03-1737-1989). Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar mauppun kecil. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan perkerasan jalan, yaitu 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75 –85% agregat berdasarkan persentase volume.

Filler

Filler pada campuran perkerasan jalan adalah bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai butiran pengisi rongga diantara partikel agregat kasar, sedang dan halus dalam rangka mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan dan stabilitas. Filler ini didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos

saringan no. 200 (0,075 mm) dapat berupa debu batu kapur, debu dolomit, atau semen.

Reclaimed Aspal Pavement

Limbah Aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*) adalah limbah aspal yang didapat dari pengerukan perkerasan jalan, Limbah Aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sendiri jarang dimanfaatkan dan menumpuk di suatu tempat yang mengganggu lingkungan sekitarnya.

Gambar 2.1 Limbah Aspal (*Reclaimed Aspal Pavement*)



Sumber: Dokumentasi

Aspal HRS-BASE

Aspal HRS-BASE atau *lataston* merupakan lapisan permukaan non struktural yang memiliki agregat gradasi senjang, filler, dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. untuk mendapatkan hasil yang memuaskan maka campuran harus memenuhi syarat gradasi yang sesuai dalam spesifikasi bina marga 2018.

Tabel 2.1 Ketentuan Aspal HRS-BASE

Sifat-sifat Campuran		Lataston	
		Lapis Aus	Lapis Fondasi
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,5
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.	4,0	
	Maks.	6,0	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	18	17
Rongga terisi aspal (%)	Min.	68	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	600	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽⁵⁾	Min.	90	

Sumber : (Spesifikasi Umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi Jalan dan Jembatan)

3. METODELOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

a. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental yang akan dilaksanakan di laboratorium Bahan Konstruksi Institut Teknologi Nasional Malang.

b. Waktu Penelitian

Waktu yang digunakan untuk penelitian dan analisis data-data Praktikum dimulai pada bulan Mei 2023 sampai dengan bulan Juni 2023.

Metode Penelitian

Studi penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

- Studi pustaka, bertujuan untuk mengkaji hubungan variabel yang akan diteliti dengan mempelajari teori-teori yang ada untuk merumuskan hipotesis penelitian.
- Studi eksperimen, dilakukan di laboratorium untuk mendapat data-data yang diperlukan. Data-data tersebut dianalisa secara statistik untuk menguji hipotesis sehingga didapat kesimpulan akhir.

Populasi dan Sampel

Tabel 3.1 KAO agregat normal dan Variasi

Pengujian	Variasi kadar aspal (%)					Jumlah sampe
	p-1	p-0,5	p	P+0,5	P+1	
Penentuan kadar aspal optimum (100% batu alami)	3	3	3	3	3	15
pengujian	Variasi pengganti agregat aspal (Limbah Aspal)					Jumlah sampel
	0%	25%	50%	75%	100%	
Pengujian marshall untuk beberapa variasi kadar pengganti agregat cangkang kenari	3	3	3	3	3	15
						30

Alat Penelitian

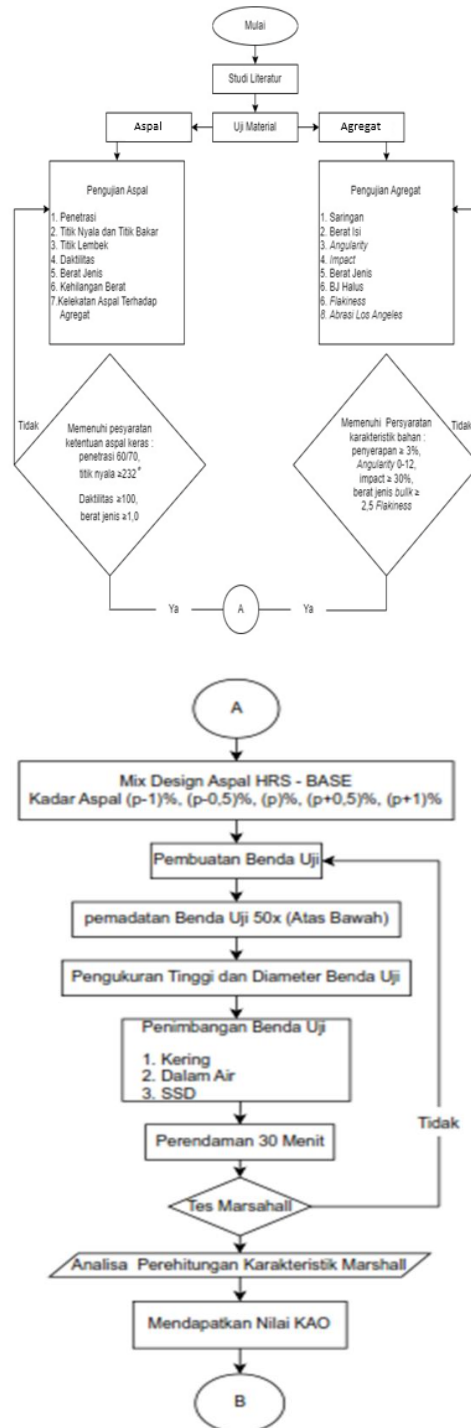
- Saringan atau ayakan 11/2, 1, 3/4, 1/2, 3/8, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 dan pan.
- Sekop digunakan sebagai alat mengambil sampel material di laboratorium maupun pada saat pengambilan material.
- Timbangan kapasitas 20 kg dengan ketelitian 0,5 gr dan timbangan kapasitas 3000 gr dengan ketelitian 0,1 gram.
- Sendok pengaduk dan spatula.
- Thermometer sebagai alat pengukur suhu aspal dan juga material.
- Cetakan mold berbentuk silinder yang berdiameter 101,6 mm (4 in) dan tinggi 76,2 (3in), beserta jack hammer marshall.
- Dongkrak hidrolik berfungsi sebagai alat untuk mengeluarkan benda uji marshall dari mold.
- Cat dan spidol untuk menandai benda uji.
- Oven pengering material
- Alat uji *Marhall test* dilengkapi dengan penekan kepala penekan (Breaking Head), cincing Penguji (*Proving Ring*) dan arloji (*dial*) dengan Kalibrasi.

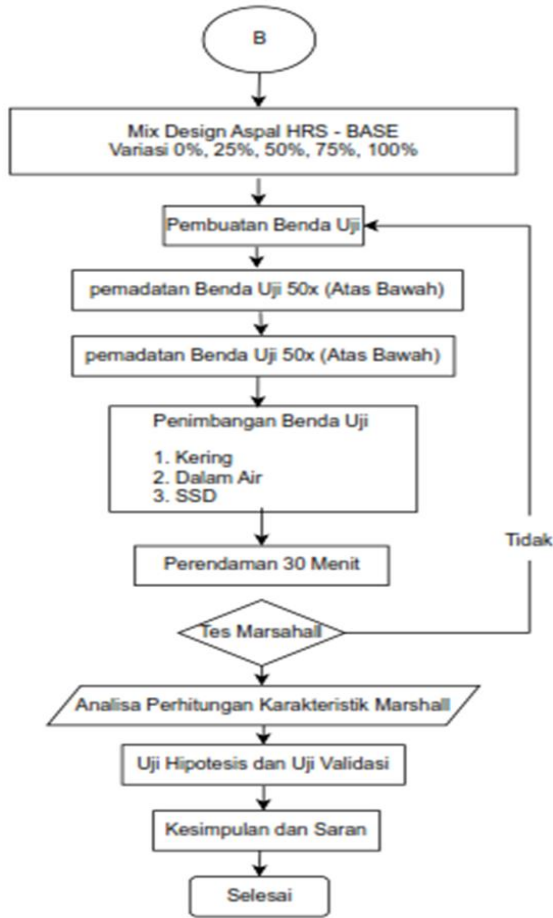
Bahan Penelitian

Bahan-bahan dan material yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat, aspal Pertamina Pen 60/70, dan Limbah Aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*). aspal yang didapatkan dari *Asphalt*

Mixing Plant Institut Teknologi Nasional malang. Pada penelitian ini, bahan – bahan yang digunakan berupa agregat kasar, agregat halus, aspal pertamina, agregat yang di dapatkan dari PT. Gorga mandiri. Agregat Limbah Aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*) yang didapatkan dari hasil pengupasan menggunakan alat *Cold Milling* dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Kediri, dan aspal pertamina pen 60/70 di dapat dari PT. Gorga mandiri.

Alur Penelitian





Gambar 1 Bagan alir penelitian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil uji Agregat Aspal

a) Agregat

Dari hasil pengujian agregat yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura – gura No.2 Malang, diketahui bahwa pengujian material agregat memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk digunakan sebagai bahan campuran aspal *HRS-BASE*. Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada tabel.

Tabel 4.1 hasil agregat

No.	Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
1	Berat Jenis Agregat 0-5	SNI 1970 : 2008	≥ 2,50	2,56	-	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat 0-5		≤ 3	0,66	%	Memenuhi
3	Berat Jenis Agregat 5-10		≥ 2,50	2,58	-	Memenuhi
4	Berat Jenis Agregat 10-10	SNI 1969 : 2008	≥ 2,59	2,59	-	Memenuhi
5	Penyerapan Agregat 5-10		≤ 3	2,06	%	Memenuhi
6	Penyerapan Agregat 10-10			1,92	%	Memenuhi
7	Gun. Lemput & Butir Mudah Pecah	SNI 03 - 4141 - 1996	≤ 1	0,88	%	Memenuhi
8	Material lolos ayakan No. 200 (0 - 5)	SNI ASTM C117 : 2012	≤ 10	6,85	%	Memenuhi
9	Material lolos ayakan No. 200 (5 - 10)		≤ 1	0,88	%	Memenuhi
10	Material lolos ayakan No. 200 (10 - 10)	ASTM C117 : 2012		0,70	%	Memenuhi
11	Butir pecah Agregat Kasar 10/10	SNI 7619 : 2012	95/90	100,00	%	Memenuhi
12	Abrasi 100 Putaran	SNI 2417 : 2008	≤ 8	6,97	%	Memenuhi
13	Abrasi 500 Putaran		≤ 40	25,96	%	Memenuhi
14	Kekekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI 2439 : 2011	≥ 95	100,00	%	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4.2 hasil agregat

No.	Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
1	Berat Jenis Limbah Hotmix	SNI 1969 : 2008	≥ 2,50	2,62	-	Memenuhi
2	Penyerapan Limbah Hotmix		≤ 3	1,92	%	Memenuhi
3	Abrasi 100 Putaran Limbah Aspal	SNI 2417 : 2008	≤ 8	5,89	%	Memenuhi
4	Abrasi 500 Putaran Limbah Aspal		≤ 40	25,96	%	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisa

b) Aspal

Dari hasil pengujian agregat yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura – gura No.2 Malang, diketahui bahwa pengujian material agregat memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk digunakan sebagai bahan campuran aspal *HRS-BASE*. Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada tabel.

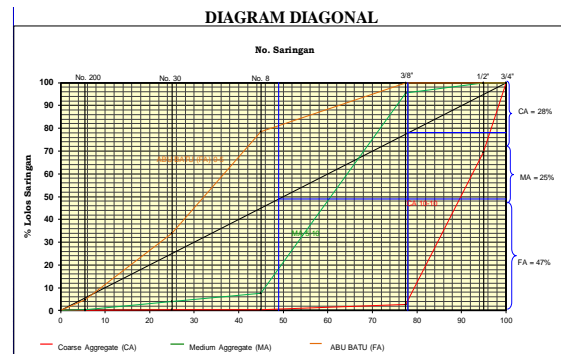
Tabel 4.3 hasil aspal

No.	Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
1	Penetrasi Sebelum Kehilangan Minyak	60 - 70	68,50	10 ⁻¹ mm	Memenuhi
2	Berat Jenis Aspal Keras	≥ 1	1,01	gr/cm ³	Memenuhi
3	Daktilitas Sebelum Kehilangan Minyak	≥ 100	1030,0	cm	Memenuhi
4	Titik Nyala Aspal	≥ 232	339	°C	Memenuhi
5	Titik Bakar Aspal	-	344	°C	-
6	Titik Lembek Aspal dan Ter	≥ 48	49,50	°C	Memenuhi
7	Kehilangan Berat Minyak dan Aspal	≤ 0,8	0,182	%	Memenuhi
8	Penetrasi Setelah Kehilangan Minyak (% semula)	≥ 54	89,49	%	Memenuhi
9	Daktilitas Setelah Kehilangan Minyak	≥ 50	1010	cm	Memenuhi

Sumber : Hasil Analisa

Komposisi campuran

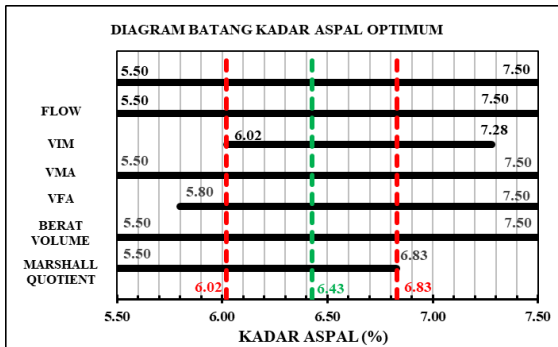
Setelah dilakukan pemeriksaan analisa gradasi untuk mengetahui berat dan prosentase agregat yang lolos pada masing – masing saringan, maka selanjutnya dihitung proporsi agregat dalam campuran dengan menggunakan metode grafis seperti pada grafik dan tabel komposisi campuran agregat di bawah ini :



Sumber : Hasil Analisa

Gambar 4.1 diagram diagonal

Hasil KAO Agregat Normal



Gambar 4.2 KAO normal
Sumber : Hasil Analisa

Komposisi campuran setelah KAO

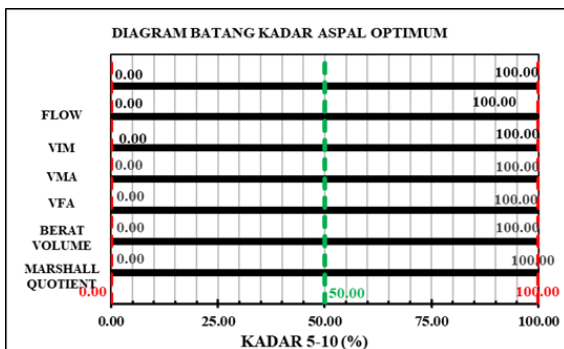
Setelah proporsi prosentase masing-masing agregat dan KAO diketahui, maka selanjutnya dilakukan perhitungan campuran kadar Limbah Aspal dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat agregat 5-10

Tabel 4.4 Komposisi Campuran

Jenis Material	Variasi Kadar Limbah Hotmix Terhadap Agregat 5 - 10 (%)				
	0	25	50	75	100
	Komposisi (%)				
Limbah Hotmix	0.00	7.50	15.00	22.50	30.00
10 - 10	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
5 - 10	30.00	22.50	15.00	7.50	0.00
0 - 5	57.00	57.00	57.00	57.00	57.00
Filler	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	KADAR ASPAL OPTIMUM (%)				
	6.43				
	Berat Agregat (gr)				
Limbah Hotmix	0.0	84.2	168.4	252.7	336.9
10 - 10	134.7	134.7	134.7	134.7	134.7
5 - 10	336.9	252.7	168.4	84.2	0.0
0 - 5	640.1	640.1	640.1	640.1	640.1
Filler	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
Berat total Ag. Camp. (gr)	1122.9	1122.9	1122.9	1122.9	1122.9
Berat aspal (gr)	77.1	77.1	77.1	77.1	77.1
Berat total campuran (gr)	1200.0	1200.0	1200.0	1200.0	1200.0

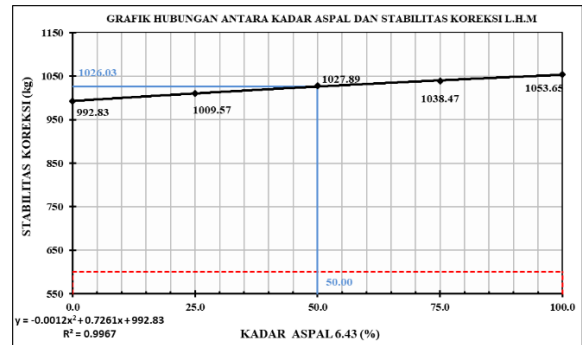
Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4.5 Hasil Kadar aspal Variasi



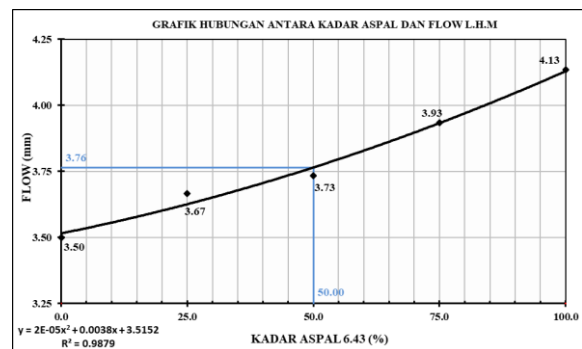
Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4.6 Stabilitas Variasi



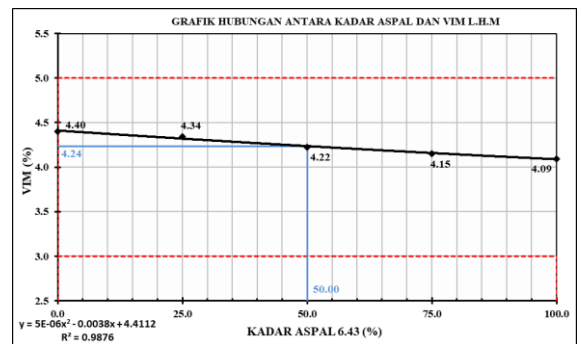
Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4.7 Flow Variasi



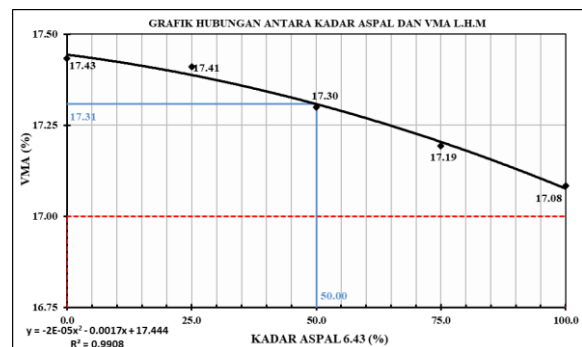
Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4.8 VIM Variasi



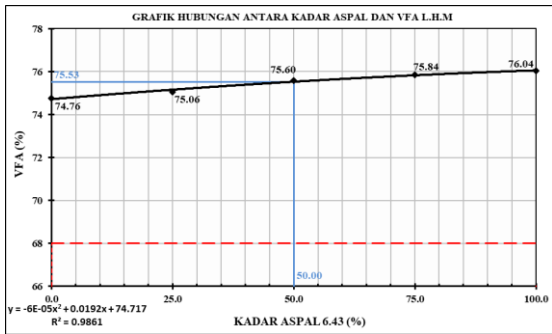
Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4.9 VMA Variasi



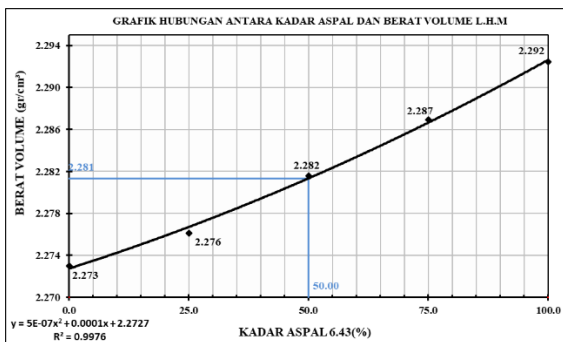
Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4.10 VFA Variasi



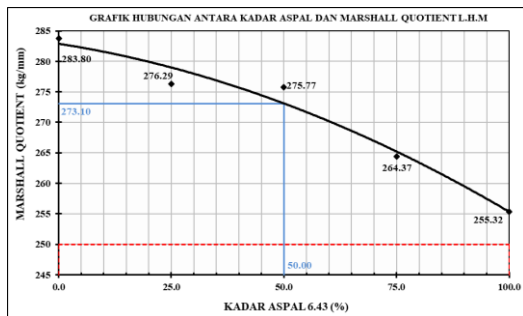
Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4.11 Berat Volume Variasi



Sumber : Hasil Analisa

Tabel 4.12 MQ Variasi



Sumber : Hasil Analisa

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang penggunaan Limbah Aspal sebagai pengganti agregat 5-10 untuk campuran aspal panas HRS - BASE maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil diatas maka Limbah aspal (Reclaimed Asphalt pavement) dapat memenuhi syarat sebagai bahan pengganti 5-10.
2. Kadar aspal optimum Marshall yang didapatkan pada setiap variasi campuran adalah sebesar 100.00 %.

3. Hasil kinerja Marshall pada variasi Limbah HotMix

Tabel 5. 1 Hasil Marshall Test

Stabilitas	1053.65
Flow	4.13
VMA	4.09
VIM	17.08
VFA	76.04
MQ	255.32

Sumber : Hasil Analisa

Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh selama penelitian, penambahan Limbah Aspal memberikan peningkatan terhadap kinerja aspal campuran, memberikan hasil yang sesuai dengan syarat bina marga 2018 revisi 2, maka dari itu sebagai saran-saran untuk pengujian lanjutan adalah sebagai berikut:

1. Perlu penelitian lanjutan dengan KAO (kadar aspal optimum) yang lain dengan menggunakan campuran aspal AC-BC atau AC- WC.
2. Perlu penelitian dengan peranan Limbah Aspal sebagai pengganti agregat 10 - 10 atau sebagai pengganti 0 - 5.

DAFTAR PUSTAKA

- Alli, S., & Kharlindo, M. Y. (2021). *Kinerja Durabilitas Campuran Aspal Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) dengan Substitusi Cangkang Sawit sebagai Agregat Halus*. 10(1), 81–91.
- Anonim. (1989). Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Laston Untuk Jalan Raya. In *Badan Standardisasi Indonesia*.
- Anonim. (1991a). Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. *Badan Standardisasi Nasional*, 1, 7.
- Anonim. (1991b). Metode Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter. *Metode Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter*, 2434.
- Anonim. (2011a). Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras. *Badan Standar Nasional Indonesia*. <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/648/sni-24412011-cara-uji-berat-jenis-aspal-keras.pdf>
- Anonim. (2011b). Cara uji Daktilitas Aspal. *Standar Nasional Indonesia*, 1–15. <https://dokumen.tips/documents/sni-24320iiojiojiojij-2011-cara-uji-daktilitas.html>
- Anonim. (2011c). Cara Uji Penetrasi Aspal. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 9–17.
- Anonim. (2011d). Cara Uji Titik Nyala dan Titik

- Bakar. *Sni 2433-2011*.
- Anonim. (2018). *SPESIFIKASI UMUM 2018 UNTUK PEKERJAAN KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN (REVISI 1)*. September.
- Latjemma Sudirman. (2022). Studi Analisis Pemamfaatan Hasil Pengupasan Aspal untuk Daur Ulang Campuran HRS-WC. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(10), 3678–3687. <https://doi.org/10.55927/mudima.v2i10.1410>
- Los, U. M. D. E. C. D. E. (2020). KARAKTERISTIK CAMPURAN HRS-WC DENGAN MENGGUNAKAN PASIR KUARSA SEBAGAI AGREGAT HALUS. *Jurnal Teknik*, 24, 150–160.
- Mukhlis, Lusyana, Suardi, E., & Adibroto, F. (2019). ANALISIS KINERJA INDEKS KEKUATAN SISA (IKS) CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN proses penghamparan sehingga mudah. *Jurnal Fondasi*, 8(1), 70–76.
- Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S., & Budiantara, M. (2017). *Buku ajar dasar-dasar statistik penelitian*.
- Saleh, A., Syaloom Harianja, D., & Lubis, F. (2022). Analisis Nilai Keausan pada Lapis Hot Rolled Sheet (HRS) dengan Menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Styrofoam. *Jurnal Teknik*, 16(1), 36–40. <https://doi.org/10.31849/teknik.v16i1.9491>
- Sudirmal, J., & Kota, R. (2023). PENGARUH PENAMBAHAN ASPAL TERHADAP STABILITAS MARSHALL PADA MATERIAL RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) DI RUAS JALAN JENDERAL SUDIRMAL–RIJALI KOTA AMBON. 4(5), 543–555.
- Sukirman, S. 2016. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas* (Vol. 53, Nomor 9).