

Analisa Pemanfaatan Semen Dan Batu Kapur Sebagai Filler Pada Campuran HRS-Base

Irianto^{1*}, Franky E. P. Lapian², Didik S.S.Mabui³, Elias Ferdinand⁴

^{1,2,3} Program Magister Rekayasa Teknik Sipil Universitas Yapis Papua

⁴ Mahasiswa Magister Rekayasa Teknik Sipil Universitas Yapis Papua

*Corresponding Author

E-mail Address: irian.anto@gmail.com

ABSTRAK

Kondisi infrastruktur jalan darat yang tidak memadai menjadikan jalur udara sebagai andalan untuk pengangkutan orang dan barang, termasuk berbagai kebutuhan pokok di Papua. Dalam kacamata ekonomi, hal tersebut menyebabkan mahalnya biaya distribusi, yang berarti secara otomatis juga menaikkan harga berbagai barang kebutuhan pokok tersebut, terutama di pedalaman Papua. Upaya untuk menurunkan biaya distribusi dari satu kabupaten ke kabupaten lain di wilayah Papua terus dilakukan pemerintah Indonesia melalui pembangunan infrastruktur jalan raya Trans-Papua. Salah satu yang dapat dimanfaatkan untuk pembangunan infrastruktur jalan raya Trans-Papua adalah batu kapur sebagai bahan pengisi dalam campuran HRS-Base. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran HRS-Base dengan menggunakan filler semen dan batu kapur. Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0%. Hasil penelitian menunjukkan KAO dengan menggunakan semen sebagai filler adalah 6,18% dan menggunakan batu kapur adalah 6,25%. Selain itu, juga terlihat bahwa kapur terbukti bisa menggantikan Semen sebagai bahan tambah (filler) pada campuran aspal panas.

Kata kunci: HRS-Base, Semen, Batu kapur, Kadar Aspal Optimum (KAO)

ABSTRACT

The condition of inadequate road infrastructure makes the air route a mainstay for the transportation of people and goods, including various basic needs in Papua. From an economic perspective, this causes expensive distribution costs, which means that it automatically increases the prices of these various basic necessities, especially in the interior of Papua. Efforts to reduce distribution costs from one district to another in the Papua region continue to be carried out by the Indonesian government through the construction of Trans-Papua highway infrastructure. One of the things that can be used for the development of Trans-Papua highway infrastructure is limestone as a filler material in the HRS-Base mixture. This study aims to analyze the comparison of the Optimum Asphalt Content (KAO) of HRS-Base mixture using cement filler and limestone. The variations in asphalt content used were 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% and 7.0%. The results of the study showed that KAO by using

Keywords: HRS-Base, Cement, Limestone, Optimum Asphalt Rate (KAO)

PENDAHULUAN

Di Papua dan Papua Barat jalan raya sebagai salah satu transportasi darat belum memadai menjadikan jalur udara sebagai andalan untuk pengangkutan orang dan barang, termasuk berbagai kebutuhan pokok di Papua. Dalam kacamata ekonomi, hal tersebut menyebabkan mahalnya biaya distribusi, yang

berarti secara otomatis juga menaikkan harga berbagai barang kebutuhan pokok tersebut, terutama di pedalaman Papua. Upaya untuk menurunkan biaya distribusi dari satu kabupaten ke kabupaten lain di wilayah Papua terus dilakukan pemerintah Indonesia melalui pembangunan infrastruktur jalan raya Trans-Papua dan Trans Papua Barat.

Dalam rangka pembangunan infrastruktur jalan tersebut, ada beberapa persoalan yang sering menjadi hambatan. Salah satunya adalah tidak tersedianya material lokal di daerah-daerah tertentu sesuai spesifikasi yang dipersyaratkan, misalnya wilayah Papua Barat bagian barat laut seperti Kabupaten Raja Ampat dan sekitarnya serta Papua Barat bagian Selatan seperti kabupaten Kaimana dan sekitarnya, dimana tidak terdapat material yang baik untuk dipergunakan sebagai material jalan (pasir, batu dan agregat berbutir). Oleh karena itu, untuk memenuhinya harus didatangkan dari luar Kabupaten di Papua Barat bahkan dari luar pulau Papua seperti dari Sulawesi. Alternatif lain yang bisa dilakukan adalah dengan memanfaatkan material lokal yang ada di Manokwari sehingga paling tidak bisa mendekati standar perkerasan jalan yang ada. Selain itu, dengan memanfaatkan material lokal yang ada dapat menjadi referensi bagi pemerintah daerah untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan tanpa didatangkan dari luar daerah.

Kabupaten Jayapura salah satu daerah di Papua yang mempunyai sumber material yang sangat melimpah namun dalam pengolahan secara mekanis di *stone crusher* setelah kami amati ada permasalahan yang terjadi dimana agregat halus (*filler*) sebagai bahan pengisi dalam campuran beraspal panas khususnya HRS tidak mencukupi jumlah minimum yang dipersyaratkan dalam spesifikasi sehingga harus ditambahkan dengan semen Portland.

Dengan permasalahan di atas peneliti ingin menindak lanjuti bagaimana jika kekurangan atau ketimpangan tersebut diganti dengan kapur lokal guna memanfaatkan material lokal, dalam hal ini diperlukan penelitian yang bersifat inovatif dan aplikatif agar hasil penelitian benar-benar dapat bermanfaat untuk mengatasi masalah yang ada. Paling tidak bisa memperkecil cost dibandingkan bila harus didatangkan dari luar Manokwari apalagi penggunaan semen portland. Batu karang (kapur) secara geologis disebut batu domato (batu lunak) yang merupakan batuan sedimen kimiawi yang terbentuk dari bahan-bahan organik (Tjaronge, 2013). Kelompok batu karang terbagi atas kelompok Detrital, yaitu diklasifikasikan oleh ukuran butir seperti konglomerat, batu pasir, batu lanau dan

serpih, terbagi atas batuan arenaceous lebih dominan pasir dan batuan argillaceous lebih dominan lempungan dan kelompok Non Detrital, yaitu batuan sedimen kimiawi (antara lain garam batuan) terkomposisi oleh sebagian besar endapan-endapan dari pelarutan, serta biasanya memiliki tekstur kristalin (Kurniadji, 2006; Li et al., 1999; Tayfur et al., 2005; Walubita et al., 2000). Sebagian besar wilayah Papua dan Papua Barat adalah daerah karts/daerah kapur dimana ketersediaannya sangat melimpah dan hampir terdapat di setiap daerah. Penggunaan yang umum oleh masyarakat adalah di Provinsi Papua adalah untuk batu bata yang dicetak menjadi batako, material timbunan dan pembangunan jalan. Secara khusus pada pembangunan jalan, material batu kapur banyak digunakan sebagai timbunan pilihan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran HRS-Base yang menggunakan filler semen dan batu kapur.

MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan bekerja sama dengan Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional. Penelitian ini dilaksanakan selama 2 bulan yaitu Desember 2018 – Januari 2019.

Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan/material yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material agregat kasar diambil dari lokasi quarry agregat kasar lokal yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Kali Mafi di Kabupaten Jayapura Provinsi Papua.
2. Material agregat halus merupakan pasir lokal dan batu kapur yaitu pasir dari Kali Mafi di Kabupaten Jayapura Provinsi Papua.
3. Semen dengan tipe PCC diperoleh dari salah satu produsen semen di Indonesia.
4. Aspal minyak dengan penetrasi 60/70 diperoleh dari salah satu produsen aspal minyak di Indonesia.

Rancangan Penelitian

Persiapan penelitian yang dilakukan dengan studi pustaka, yaitu untuk mendapatkan gambaran tentang penelitian-penelitian penggunaan material-material lokal yang

sudah pernah dilakukan sebelumnya. Adapun penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium diawali dengan melakukan persiapan peralatan dan material yang akan digunakan, dilanjutkan dengan penelitian karakteristik bahan berupa agregat dan aspal minyak penetrasi 60/70 sebagai bahan pengikat. Langkah selanjutnya adalah pembuatan sampel (briket) untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO). Dibuak sampel benda uji menggunakan gradasi HRS-Base menggunakan agregat lokal dari Kali Mafi di Kabupaten Jayapura Provinsi Papua dan semen dengan bahan pengikat berupa aspal minyak penetrasi 60/70. Selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik Marshall (Spesifikasi 2010 Revisi 3; SNI 06-2489-1991; AASHTO T 245-97; The Shell Bitumen Handbook, 2015)).

Karakteristik Fisik Agregat

Tabel 1 sampai dengan 3 masing-masing memperlihatkan karakteristik agregat halus (abu batu), karakteristik agregat kasar dan karakteristik *filler* dari abu batu yang telah dilakukan.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan karakteristik halus

No.	Pemeriksaan	Hasil Uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan Air	2,87	-	3,0	%
	Berat Jenis Bulk	2,48	2,5	-	-
2	Berat Jenis SSD	2,56	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,66	2,5	-	-
3	Sand Equivalent	90,63	50	-	%

Tabel 2. Karakteristik sifat fisik agregat kasar

No.	Pemeriksaan	Hasil uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan air Batu pecah 5 – 10 mm	2,26	-	3,0	%
	Batu pecah 1 - 2 cm	2,28	-	3,0	%
2	Berat Jenis Batu pecah 0,5 - 1 cm	2,67	2,5	-	-
	Berat Jenis Bulk	2,67	2,5	-	-
	Berat Jenis SSD	2,69	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,80	2,5	-	-
	Batu Pecah 1 - 2 cm	2,80	2,5	-	-
3	Indeks Kepipihan Batu Pecah 0,5 - 1 cm	22,10	-	25	%
	Batu pecah 1 - 2 cm	11,38	-	25	%
4	Kausan Agregat Batu Pecah 0,5 - 1 cm	20,92	-	40	%
	Batu Pecah 1 - 2 cm	18,56	-	40	%

Berdasarkan dari hasil pengujian karakteristik agregat kasar (batu pecah), abu batu, serta *filler* yang ditampilkan terlihat bahwa agregat yang digunakan memenuhi Spesifikasi Umum Tahun 2010 Bina Marga untuk bahan jalan yang disyaratkan.

Tabel 3. Hasil pemeriksaan karakteristik *filler*

No	Pemeriksaan	Hasil Uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan Air	2,48	-	3,0	%
	Berat Jenis Bulk	2,64	2,5	-	-
2	Berat Jenis SSD	2,70	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,79	2,5	-	-
3	Sand Equivalent	79,5	50	-	%

Karakteristik Fisik Aspal Minyak Penetrasi 60/70

Tabel 4 memperlihatkan hasil pengujian Aspal minyak yang telah dilakukan.

Tabel 4. Hasil pemeriksaan karakteristik aspal minyak penetrasi 60/70

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	
			Min	Max
1	Penetrasi sebelum kehilangan berat (mm)	77,3	60	79
2	Titik Lembek (°C)	56	48	58
3	Daktalitas pada 25°C, 5cm/menit (cm)	119	100	-
4	Titik nyala (°C)	310	200	-
5	Berat jenis	1,14	1	-
6	Penurunan berat (%)	0,2	-	0,8
7	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat (mm)	89	54	-

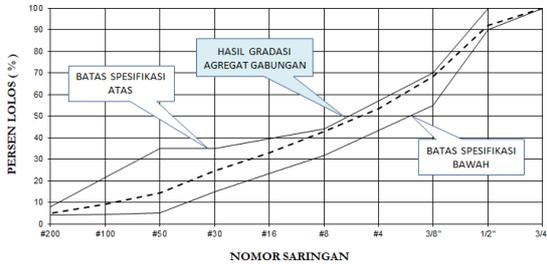
Hasil pemeriksaan karakteristik aspal minyak penetrasi 60/70 yang ditampilkan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa aspal yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3, seksi 6 tentang perkerasan beraspal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gradasi Agregat Gabungan HRS-Base

Gambar 1 terlihat bahwa rancangan agregat gabungan atau gradasi agregat gabungan yang dibuat telah berada dalam interval spesifikasi standar sesuai dengan Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan oleh Bina Marga

Tahun 2010 dan telah memenuhi persyaratan untuk lapis permukaan sehingga dapat diperoleh rancangan campuran atau *mix design* yang optimal (Abu *et al.*, 1997).

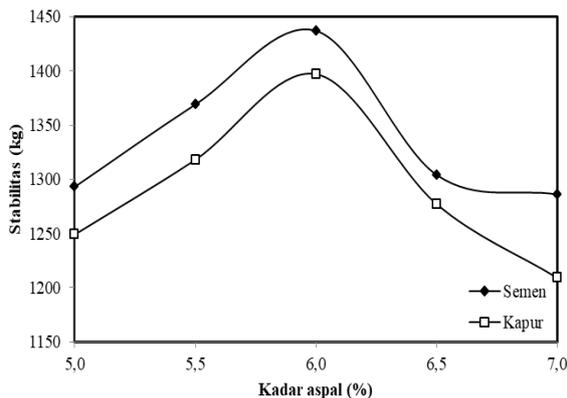


Gambar 1. Gradasi agregat gabungan

Hasil Pengujian Karakteristik Marshall

1. Stabilitas

Gambar 2 memperlihatkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai stabilitas baik yang menggunakan filler dari semen maupun yang menggunakan filler dari batu kapur.



Gambar 2. Hubungan antara kadar aspal minyak dengan stabilitas

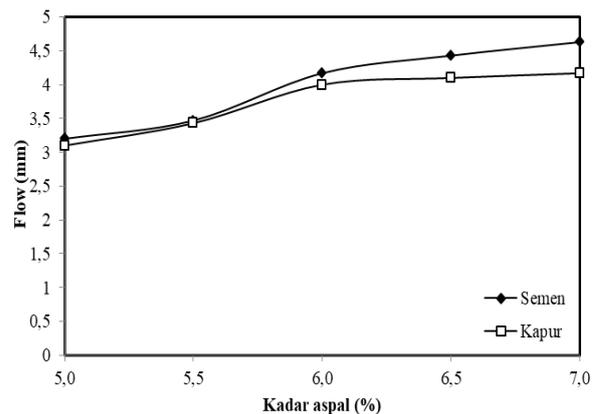
Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa nilai stabilitas semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal minyak hingga pada nilai optimum dan menurun ketika melewati nilai optimum tersebut. Pada kadar aspal 5,0% nilai stabilitas yang didapatkan dengan menggunakan filler semen dan batu kapur adalah masing-masing sebesar 1293 kg dan 1249 kg. Sedangkan pada kadar aspal 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% adalah masing-masing sebesar 1369 kg; 1318 kg, 1437 kg; 1397 kg, 1304 kg; 1277 kg dan 1286 kg; 1209 kg.

Untuk semua variasi kadar aspal minyak yang digunakan baik dengan menggunakan filler semen maupun filler batu kapur memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Revisi 3 Tahun 2010 yaitu minimal 800 kg. Dengan melihat hasil stabilitas yang

didapatkan dengan menggunakan filler batu kapur mengisyaratkan bahwa batu kapur memiliki kelayakan untuk dapat digunakan sebagai filler dalam campuran HRS-Base (Gul dan Guler, 2014).

2. Flow

Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai flow.



Gambar 3. Hubungan antara kadar aspal minyak dengan flow

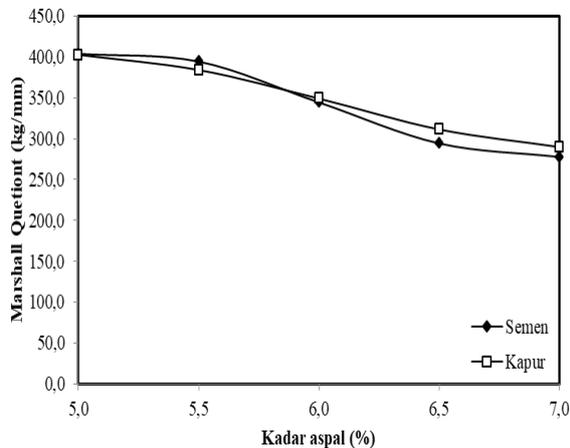
Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa nilai flow yang didapatkan pada campuran HRS-Base yang menggunakan filler semen dan batu kapur dengan kadar aspal minyak 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% adalah masing-masing sebesar 3,2 mm; 3,1 mm, 3,47 mm; 3,43 mm, 4,17 mm; 4,00 mm, 4,43 mm; 4,10 mm dan 4,63 mm; 4,17 mm.

Spesifikasi Umum Revisi 3 Tahun 2010 mensyaratkan bahwa nilai flow yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Oleh karena itu, terlihat bahwa pada kadar aspal minyak 6,0%, 6,5% dan 7,0% dengan menggunakan filler semen tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan sedangkan pada campuran yang menggunakan filler batu kapur dengan kadar aspal minyak 6,5% dan 7,0% tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

3. Marshall Quetiont (MQ)

Gambar 4 memperlihatkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai hasil bagi Marshall (Marshall Quetiont-MQ). Spesifikasi Umum Revisi 3 Tahun 2010 mensyaratkan bahwa nilai Marshall Quetiont (MQ) yaitu minimal 250 kg/mm. Nilai MQ yang didapatkan pada campuran HRS-Base yang

menggunakan filler semen dan batu kapur dengan kadar aspal minyak 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% adalah masing-masing sebesar 404,1 kg/mm; 402,9 kg/mm, 394,5 kg/mm; 384,3 kg/mm, 344,6 kg/mm; 349,30 kg/mm, 294,4 kg/mm; 311,5 kg/mm dan 277,8 kg/mm; 289,9 kg/mm.

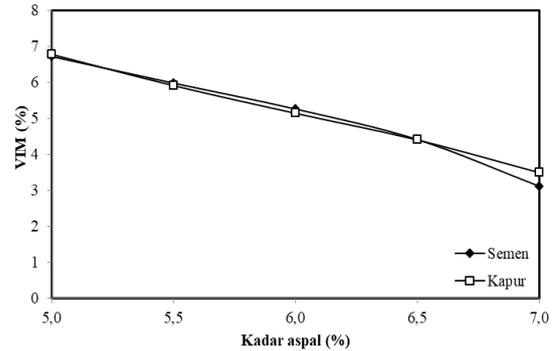


Gambar 4. Hubungan antara kadar aspal minyak dengan Marshall Quotient

4. Void in Mix (VIM)

Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai VIM (rongga dalam campuran) dimana parameter ini sangat penting untuk dianalisis pada campuran HRS-Base yang menggunakan filler semen dan filler batu kapur. Persyaratan nilai VIM berdasarkan Spesifikasi Umum Revisi 3 Tahun 2010 adalah 3%-5%. Nilai VIM yang didapatkan pada campuran HRS-Base yang menggunakan filler semen dan batu kapur dengan kadar aspal minyak 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% adalah masing-masing sebesar 6,72%; 6,78%, 5,98%; 5,91%, 5,26%; 5,14%, 4,41%; 4,40% dan 3,11%; 3,49%.

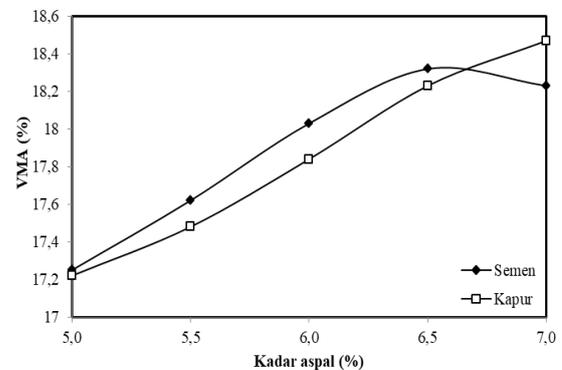
Terlihat bahwa kadar aspal minyak yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan adalah sebesar 6,5% dan 7,0% untuk campuran yang menggunakan filler semen dan filler batu kapur.



Gambar 5. Hubungan antara kadar aspal minyak dengan VIM

5. Void in Mineral Aggregate (VMA)

Gambar 6 memperlihatkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai VMA.

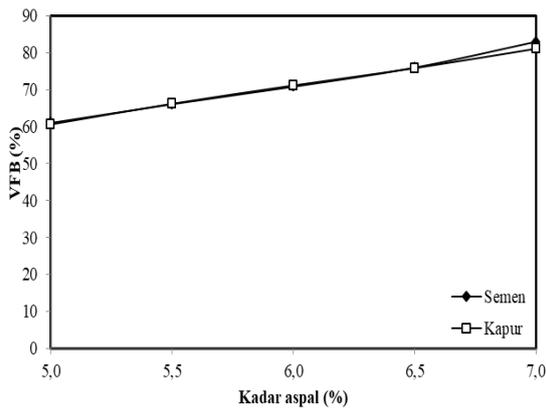


Gambar 6. Hubungan antara kadar aspal minyak dengan VMA

Persyaratan nilai VMA berdasarkan Spesifikasi Umum Revisi 3 Tahun 2010 adalah minimal 15%. Nilai VMA yang didapatkan pada campuran HRS-Base yang menggunakan filler semen dan batu kapur dengan kadar aspal minyak 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% adalah masing-masing sebesar 17,25%; 17,22%, 17,62%; 17,48%, 18,03%; 17,84%, 18,32%; 18,23% dan 18,23%; 18,47%. Terlihat bahwa seluruh kadar aspal minyak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan untuk campuran HRS-Base.

6. Void Filled Bitumen (VFB)

Gambar 7 memperlihatkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai VFB. Persyaratan nilai VFB berdasarkan Spesifikasi Umum Revisi 3 Tahun 2010 adalah minimal 65%.



Gambar 7. Hubungan antara kadar aspal minyak dengan VFB

Nilai VFB yang didapatkan pada campuran HRS-Base yang menggunakan filler semen dan batu kapur dengan kadar aspal minyak 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% adalah masing-masing sebesar 61,02%; 60,63%, 66,11%; 66,23%, 70,85%; 71,19%, 76,00%; 75,87% dan 83,03%; 81,12%. Terlihat bahwa kadar aspal minyak yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan adalah sebesar 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% untuk campuran yang menggunakan filler semen dan filler batu kapur.

PENUTUP

Berdasarkan hasil dari pemeriksaan campuran aspal panas jenis *Hot Rolled Sheet Base (HRS Base)* dengan bahan tambah (*filler*) Semen dan dengan bahan tambah (*filler*) kapur, maka disimpulkan bahwa :

- Nilai Stabilitas Maksimum campuran dengan bahan tambah (*filler*) semen adalah sebesar 2.290 kg dan nilai stabilitas untuk campuran dengan bahan tambah (*filler*) kapur sebesar 1350 kg, maka dengan hasil tersebut terjadi adanya penurunan Stabilitas, namun masih memenuhi batasan nilai Stabilitas yang disyaratkan yaitu minimum 800 kg.
- Nilai prosentase kadar rongga (*VIM*) campuran dengan bahan tambah (*filler*) adalah sebesar 4,8 % dan nilai prosentase untuk campuran dengan bahan tambah (*filler*) kapur sebesar 4,6 maka dengan hasil tersebut terjadi adanya penurunan prosentase rongga udara yang akan berpengaruh terhadap berkurangnya resapan air kedalam lapis perkerasan aspal, sehingga perkerasan aspal tersebut lebih kedap air serta melindungi

perkerasan struktur yang ada dibawahnya akan lebih awet, namun masih memenuhi batasan nilai Prosentase rongga udara (*VIM*) yang disyaratkan yaitu antara 4,0% sampai dengan 6,0%

- Nilai Kelelahan plastis (*flow*) campuran dengan bahan tambah (*filler*) Semen 4.2 mm dan nilai campuran dengan bahan tambah (*filler*) kapur 3.9 mm menunjukkan adanya penurunan, maka hasil tersebut akan mengurangi batas leleh pada waktu cuaca sedang panas, namun masih memenuhi batas Kelelahan Plastis yang disyaratkan yaitu minimum 3,0 mm
- Nilai Prosentase rongga campuran terisi aspal dengan bahan tambah (*filler*) Semen 72.5 % dan nilai campuran dengan bahan tambah (*filler*) Kapur 73,0 %, maka dengan hasil tersebut adanya kenaikan yang berakibat bertambahnya kadar Aspal yang digunakan dalam campuran, namun masih memenuhi persyaratan minimum 68,0%
- Nilai hasil bagi antara Stabilitas dan Kelelahan (*Marshall Quotient*) dengan bahan tambah (*filler*) Semen 330 kg/mm dan % dan nilai campuran dengan bahan tambah (*filler*) Kapur 335 kg/mm, dikarenakan makin menurunnya nilai kelelahan plastis maka nilai Marshall Quotiennya akan menjadi lebih tinggi
- Dari semua uraian hasil propertis tersebut di atas disimpulkan bahwa kapur terbukti bisa menggantikan Semen sebagai bahan tambah (*filler*) pada campuran aspal panas.

REFERENSI

- AASHTO T 245-97 (ASTM D 1559-76). Resistance Plastic of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. American Society for Testing and Materials.
- Abu N. M. F., Hu X., Lopez Y., Walubita L. F., 1997. Using the fracture energy concept characterize the HMA cracking resistance potential under monotonic crack testing. *International journal of pavement research and technology*, Vol. 7 No. 1, hal. 40 – 48
- Lapian, F. E., Tumpu, I. M., & Leonard, H. (2024). Analysis of The Residual Strength Value of AC-WC Asphalt Mixture by Immersion in Asphalt Mixture with LDPE Plastic Waste Substitution. *International Journal of*

- Engineering and Science Applications*, 11(1), 11-14.
- Gul. W. A., Guler M., 2014. Rutting susceptibility of asphalt concrete with recycled concrete aggregate using revised Marshall procedure Construction and building materials, 55 hal. 341 – 349
- Irianto, I., & Lapian, F. E. (2023). Volumetrik Campuran Aspal Concrete Wearing Course (AC-WC) Dengan Bahan Tambah Limbah Plastik Polistyren (PS). *Jurnal Teknik AMATA*, 4(2), 25-29.
- Kurniadji, (2006), "Asbuton (Aspal Buton) sebagai Bahan Perkerasan Jalan", Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Li G., Yongqi Y., Metcalf J. B., Su-Seng P. 1999. Elastic modulus prediction of asphalt concrete. *Journal of material in civil engineering*, hal. 236 - 241.
- Spesifikasi Umum Bina marga Divisi 6. (2010). *Perkerasan Aspal*. Direktorat Jendral Bina marga.
- Spesifikasi Umum Bina marga Divisi 6. (2010). *Perkerasan Aspal*. Direktorat Jendral Bina marga.
- Standar Nasional Indonesia 06-2489-1991. (1991). *Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. Indonesia : Standar Nasional Indonesia.
- Stephen B., the Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham, July 1990
- Tayfur S., Ozen H., Aksoy A., 2005. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. *ScienceDirect, Construction and Building Materials*, hal. 328 -337.
- Tjaronge, M.W. and Rita Irmawaty. 2013. Influence of Water Immersion on Physical Properties of Porous Asphalt Containing Liquid Asbuton as Bituminous Asphalt Binder.
- Tumpu, M. (2024, July). Pengaruh Jumlah Tumbukan Terhadap Stabilitas Campuran Aspal Emulsi. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil* (Vol. 2, No. 1, pp. 1-14).
- Tumpu, M., Mabui, D. S., Rochmawati, R., & Sila, A. A. (2023, June). Potential of Pyrolyzing Mixed Polyethylene Terephthalate and Polypropylene Plastic Wastes for Utilization in Asphalt Binders. In *Annales de Chimie. Science des Matériaux* (Vol. 47, No. 3, p. 133).
- International Information and Engineering Technology Association (IIETA).