

**ANALISIS PENGGUNAAN LIMBAH GYPSUM SEBAGAI AGREGAT HALUS
PADA CAMPURAN PERKERASAN *HOT ROLLED SHEET BASE* (HRS-BASE)
*Analysis of the use of Gypsum Waste as A Fine Aggregate
in Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base) Pavement Mix***

Dwi Sujatmiko*, Robby*, Ina Elvina*

*Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya,
Jl. Yos Sudarso Palangka Raya

Email : dwimiko61@gmail.com, robby@eng.upr.ac.id, inaelvina77@gmail.com

Abstrak

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan nadi bagi mobilitas masyarakat sebagai penunjang transportasi darat, maka dibutuhkan konstruksi jalan yang berkualitas agar memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengguna jalan. Salah satu jenis perkerasan yang biasa digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur. Limbah gypsum merupakan hasil buangan yang berasal dari tempat produksi gypsum pracetak yang sangat mudah ditemukan di berbagai daerah di Indonesia. Salah satu upaya dalam memanfaatkan limbah gypsum ini yaitu dapat digunakan sebagai agregat halus terhadap perkerasan jalan raya. Penelitian ini dilakukan guna memanfaatkan limbah gypsum dalam campuran perkerasan Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base), menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk menganalisis penggunaan limbah gypsum sebagai agregat halus. Dalam penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5%, 7% dan 7,5%. Dari hasil pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat semuanya memenuhi persyaratan spesifikasi. Dari hasil pengujian Marshall maka dapat ditentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu sebesar 6,05%. Nilai karakteristik Marshall yang didapat dari Kadar Aspal Optimum (KAO) tersebut yaitu stabilitas sebesar 862,5 kg, rongga dalam agregat (VMA) sebesar 17,65%, rongga dalam campuran (VIM) sebesar 3,8%, rongga terisi aspal (VFB) sebesar 78% dan hasil bagi Marshall sebesar 295,5%.

Kata kunci: Hot Rolled Sheet Base, Limbah gypsum, Kadar aspal optimum

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan nadi bagi mobilitas masyarakat sebagai penunjang transportasi darat. Kondisi dari adanya pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur jalan diharapkan menjadi prioritas pemerintah karena semakin besarnya jumlah penduduk maka harus didukung oleh konstruksi jalan yang berkualitas agar memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengguna jalan. Seiring dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur, maka semakin meningkat pula kebutuhan akan bahan dasar konstruksi.

Berdasarkan (Sukirman, 2003), perkerasan jalan merupakan campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas yang selama masa pelayanannya diharapkan agar tidak terjadi kerusakan yang berarti. Berbagai macam upaya inovasi dikembangkan untuk diaplikasikan dalam usaha memelihara dan meningkatkan prasarana jalan dengan memanfaatkan sumber daya yang ada di sekitar lokasi pekerjaan. Upaya yang dilakukan dalam penelitian ini untuk mengkaji dan memanfaatkan sumber daya yang ada yaitu limbah gypsum. Diharapkan limbah gypsum ini dapat menjadi bahan alternatif untuk dapat digunakan dalam konstruksi jalan.

Gypsum merupakan bahan material yang kaya akan mineral sering kali digunakan oleh masyarakat sebagai kebutuhan konstruksi. Gypsum sangat mudah ditemukan di berbagai daerah di Indonesia sehingga masyarakat dapat dengan mudah memanfaatkan bahan material ini. Akan tetapi saat ini sisa-sisa dari limbah gypsum yang berasal dari tempat produksi gypsum pracetak dibiarkan begitu saja.

Melihat dari fisik limbah gypsum apabila dihaluskan memiliki kemiripan dengan agregat halus yang biasa digunakan untuk perkerasan jalan raya yaitu seperti abu batu Eks. Merak yang hampir memiliki tekstur yang sama, maka dalam penelitian ini dilakukan pengujian guna memanfaatkan limbah gypsum sebagai agregat halus dalam campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)*.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sifat-sifat fisik limbah gypsum sebagai agregat halus, mengetahui kadar aspal optimum (KAO) dan nilai karakteristik Marshall dari komposisi campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* menggunakan limbah gypsum dengan analisis data menggunakan metode Marshall. Manfaat dari penelitian ini sebagai upaya pemanfaatan material limbah gypsum sebagai alternatif agregat halus untuk campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)*.

TINJAUAN PUSTAKA

Suparma, Panggabean, & Mude (2014) dalam penelitian yang berjudul, Potensi Penggunaan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Agregat Pengisi pada Campuran *Hot Rolled Sheet Base*, menyimpulkan bahwa dari hasil perancangan di laboratorium dengan metode Marshall untuk campuran *HRS-Base* dengan menggunakan agregat pengisi abu serat kelapa sawit dan abu cangkang kelapa sawit secara umum menunjukkan semakin besar kandungan abu kelapa sawit semakin besar pula kebutuhan akan aspal. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa campuran dari *HRS-Base* menggunakan agregat pengisi dari abu serat kelapa sawit dan abu cangkang kelapa sawit memiliki potensi tahan terhadap deformasi namun kurang tahan terhadap retak karena tarik.

Arliningtyas & Nadia (2016) dalam penelitian yang berjudul, Analisa Kelayakan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Agregat Halus untuk Campuran Aspal Beton Ditinjau dari Stabilitas Marshall, menyimpulkan bahwa berdasarkan hasil pengujian Marshall terlihat bahwa campuran aspal beton dengan agregat halus pasir yang dicampurkan dengan limbah keramik menghasilkan nilai stabilitas Marshall yang paling baik. Campuran aspal beton ini memiliki nilai stabilitas Marshall yang tinggi karena campuran agregat pasir ditambah keramik menghasilkan gradasi agregat yang rapat. Hal ini terlihat dari nilai VIM rata-rata sebesar 4,65% (memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Seksi 6.3 Tentang Campuran Beraspal Panas Tahun 2010 Rev. 3).

Bahri (2017) dalam penelitian yang berjudul, Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas, menyimpulkan bahwa berdasarkan hasil tes Marshall hasil penelitian yang memenuhi spesifikasi kadar aspal optimum dan uji Marshall hanya variasi penggantian 0% dan variasi 25%. Variasi 25% lebih unggul dalam pemenuhan parameter Marshall. Ketika agregat halus diganti dengan limbah serbuk besi sebesar 25%, terjadi efisiensi penggunaan aspal sebesar 17,86%. Dari hasil penelitian limbah serbuk besi dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat halus dalam campuran aspal panas dengan kadar maksimum 25%.

Raharmadi (2017) dalam penelitian yang berjudul, Pemanfaatan Pasir Sungai Barito Sebagai Bahan Tambah Agregat Halus pada Campuran *Hot Rolled Sheet Base*, menyimpulkan bahwa berdasarkan pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% didapat kadar aspal optimum sebesar 6,375%, dengan kadar aspal efektif 6%, penyerapan aspal 0,424%, *density* 2,299% gr/cm, stabilitas 1.030 kg, *flow* 3,29 mm, VIM 4,9%, VMA 18,27%, MQ 316 kg/mm. Dari

hasil pengujian tersebut pasir sungai Barito memenuhi syarat sebagai bahan tambah agregat halus untuk campuran *HRS-Base*.

Alamsyah (2019) dalam penelitian yang berjudul, Korelasi Antara Variasi Pemadatan dan Karakteristik Marshall dengan Menggunakan Limbah Cangkang Kerang Hijau Sebagai Agregat Halus pada Campuran Latasir Kelas B, menyimpulkan bahwa dari hasil analisis pengujian Marshall diketahui bahwa agregat halus dengan cangkang kerang hijau memberikan karakteristik kekuatan Marshall masih berada di atas spesifikasi yang disyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (2008). Nilai karakteristik Marshall pada campuran latasir kelas B yang menggunakan pasir alam dan cangkang kerang hijau sebagai agregat halus dengan variasi tumbukan 45 kali pada kadar aspal 8,48% mempunyai nilai stabilitas Marshall 876,25 kg, *Marshall Quotient* 3,60 kN/mm, *film thickness* 7,23 mm dan *volume air void* 4,19%.

Martina (2019) dalam penelitian yang berjudul, Pengaruh serbuk Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus pada Campuran Aspal *Porous*, menyimpulkan bahwa hasil dari pengujian yang telah dilakukan, nilai *Marshall Properties* dalam campuran aspal *porous* dengan serbuk ban bekas yang memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan kekesatan permukaan yang memenuhi syarat Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 16/PRT/M/2014 adalah campuran aspal *porous* dengan campuran serbuk ban bekas 6% dan campuran aspal *porous* normal. Hasil dari penelitian ini juga didapat bahwa penggunaan serbuk ban bekas dapat mengurangi limbah ban bekas sebesar 3,03 ton per 1 km pekerjaan konstruksi perkerasan jalan.

Siang & Makmur (2020) dalam penelitian yang berjudul, Pengaruh penggunaan Limbah Beton Terhadap Parameter Marshall Campuran Beraspal Berpori, menyimpulkan bahwa secara keseluruhan pemanfaatan limbah beton pada campuran beraspal berpori mengalami peningkatan nilai VMA, kecuali untuk benda uji dengan kadar limbah 25%. Penggunaan limbah beton dengan kadar 50%, 75% dan 100% meningkatkan VMA berturut-turut sebesar 1,81%, 33,16% dan 14,01%. Hanya benda uji dengan kadar kadar limbah 25% terjadi penurunan VMA sebesar 0,73%.

Zulfikar (2021) menggunakan Abu Batu Bara Sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran Aspal Beton AC-WC, dengan campuran variasi agregat halus 75% pasir dan 25% abu batu bara didapatkan hasil karakteristik campuran dengan nilai VIM sebesar 21,01% nilai ini tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh Spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai MQ tertinggi berada pada kadar aspal dengan 6,5% pada campuran Lataston AC-WC yaitu sebesar 653,37 kg/mm.

Sukirman (2003) menyatakan agar perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai tetapi tetap ekonomis, maka perkerasan jalan raya dibuat berlapis-lapis. Lapisan yang berada di atas disebut dengan lapis permukaan yang merupakan lapisan paling baik dari segi mutunya. Kemudian di bawahnya terdapat lapisan pondasi yang diletakan di atas tanah dasar yang sudah dipadatkan. Lapis pondasi ini adalah bagian dari perkerasan yang terletak di antara lapis permukaan dengan lapis pondasi bawah atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah.

Lapis tipis aspal beton (Lataston), atau dikenal dengan nama *Hot Rolled Sheet (HRS)* merupakan lapisan penutup yang terdiri dari campuran antara agregat yang bergradasi timpang, mineral pengisi (*filler*) dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas, tebal padatnya antara 2,5–3 cm. Lataston yang umum disebut dengan *Hot Rolled Sheet (HRS)*

ini memiliki sifat durabilitas dan fleksibilitas yang lebih utama dibandingkan dengan sifat beton aspal lainnya. Sesuai fungsinya Lataston mempunyai 2 macam campuran, yaitu Lataston lapis permukaan atau dikenal dengan *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* dan Lataston lapis pondasi atau dikenal dengan *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)*. (Sukirman, 2003).

Ketentuan Direktorat Jenderal Bina Marga (2018) agregat halus sumber manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan lolos ayakan No.4 (4,75 mm). Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesek antar partikel. Berkenaan dengan hal ini, sifat-sifat khas diperlukan dari agregat adalah sudut permukaan, kekerasan permukaan, bersih dan bukan bahan organik. Dalam konstruksi *Hot Rolled Sheet (HRS)* komposisi agregat halus merupakan bagian yang terbesar sehingga sangat mempengaruhi kinerja pada saat konstruksi maupun pada masa pelayanannya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium, yaitu untuk menganalisis penggunaan limbah gypsum sebagai agregat halus dalam campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)*. Di laboratorium dilakukan pengamatan dan pemeriksaan terhadap proporsi campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* yang memenuhi spesifikasi. Data yang digunakan untuk perancangan campuran, selanjutnya dibuat benda uji/briket untuk dilakukan uji Marshall sehingga diketahui karakteristik campuran tersebut. Adapun tahapan penelitian ini sebagai berikut:

Pengambilan Material dan Penanganan Terhadap Limbah Gypsum

1. Pengambilan material berupa limbah gypsum sisa dari pembuatan lis gypsum dan furniture gypsum yang diambil dari tempat produksi gypsum pracetak di Surabaya Gypsum Jalan G.obos XIV dan di Raga Profil Gypsum Jalan Lamtoro Gung Perum. Graha Kayu Manis Jalur Haka 11 No.447 di Kota Palangka Raya.
2. Setelah material limbah gypsum terkumpul, kemudian limbah gypsum ditumbuk/dipecah sehingga menjadi berbentuk butiran halus.
3. Setelah limbah gypsum tersebut berbentuk butiran halus, selanjutnya dilakukan penyaringan secara manual yang lolos saringan No.8 sampai No.30 dan tertahan di saringan No.200 agar mendapatkan hasil yang diinginkan.
4. Limbah gypsum yang sudah berbentuk butiran halus tersebut kemudian yang akan digunakan sebagai agregat halus dalam campuran *Hot Rolled Sheet Base*.



Gambar 1. Limbah Gypsum dari yang Semula Ditumbuk/dipecah Menjadi Butiran Halus

Persiapan Bahan dan Alat

Sebelum melakukan penelitian perlu mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan agar penelitian tersebut dapat berjalan lancar. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk perencanaan campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)*. Menggunakan agregat kasar dari batu pecah Eks. Merak, agregat halus berupa limbah gypsum dan pasir sungai Kahayan Kalimantan Tengah dan aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat dalam penelitian ini adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70. Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan gradasi agregat, berat jenis dan penyerapan agregat, pengujian keausan agregat kasar dan kadar lempung antara lain: timbangan, satu set saringan, oven, mesin pengguncang saringan, *stopwatch*, mesin Los Angeles, talam-talam, kuas, sikat, sendok, tempat air, lap bersih, tungku pemanas (*hot plate*) dan tabung *sand equivalent*.

Pengujian Gradasi Agregat

Perencanaan gradasi agregat kasar dan halus diperoleh dengan menggunakan analisis saringan. Perencanaan analisis saringan dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1190, metode ini digunakan untuk menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat kasar dan halus dengan menggunakan saringan, tujuannya untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran.

Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Dalam pengujian berat jenis dan penyerapan agregat dibagi atas agregat kasar dan halus. Pada pengujian berat jenis dan penyerapan agregat untuk agregat kasar dilakukan dengan maksud untuk menentukan: 1) Berat jenis kering oven (*bulk specific gravity*) ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. 2) Berat jenis kering permukaan jenuh/*Saturated Surface Dry (SSD)* yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dengan berat air yang isinya sama dengan berat isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. 3) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) yaitu perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu. 4) Penyerapan agregat kasar. Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat untuk agregat kasar dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$Bj. \text{ Kering Oven (Bulk)} = \frac{B_k}{B_j - B} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Bj. Kering Permukaan jenuh (SSD)} = \frac{B_j}{B_j - B} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Bj. Semu (apparent)} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Penyerapan Agregat} = \frac{B_j - B}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

B_k : Berat sampel kering yang keluar dari dalam oven (gram), B_j : Berat sampel kering permukaan jenuh (gram), B_a : Berat sampel dalam air (gram).

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat untuk agregat halus dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Bj. Kering Oven (Bulk)} = \frac{B_k}{B + 500 - B_t} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Bj. Kering Permukaan jenuh (SSD)} = \frac{500}{B + 500 - B_t} \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Bj. Semu (apparent)} = \frac{B_k}{B + 500 - B_t} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Penyerapan Agregat} = \frac{500 - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

dengan : B_k = Berat sampel kering yang keluar dari dalam oven (gram), B = Berat sampel kering permukaan jenuh (gram), B_t = Berat sampel dalam air (gram).

Pengujian Keausan Agregat

Dalam pengujian keausan agregat kasar dalam campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* bertujuan untuk mengetahui angka keausan dari material agregat kasar yang digunakan menggunakan mesin Los Angeles dan kemudian hasilnya dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus yang lolos saringan No.12 terhadap berat semula dalam bentuk persen. Dalam pengujian ini, nilai keausan agregat kasar dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

dengan : a = Berat total sampel semula (5000 gram), b = Berat sampel yang tertahan saringan No.12.

Perencanaan Komposisi Campuran

Perencanaan campuran menggunakan metode Marshall yang bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar dari perencanaan ini adalah gradasi agregat campuran. Kadar optimum ditentukan dengan melakukan pemeriksaan Marshall di laboratorium terhadap beberapa benda uji dengan membuat variasi kadar aspal sedangkan proporsi gradasi tetap. Adapun tahapan dari pembuatan benda uji adalah sebagai berikut: 1) Penentuan proporsi campuran terhadap total agregat dengan metode Bina Marga. 2) Persyaratan pembuatan benda uji yaitu material yang digunakan harus memenuhi spesifikasi. 3) Pemeriksaan benda uji dengan tes Marshall dilakukan untuk mengetahui karakteristik campuran agregat dan variasi kadar aspal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Gradasi Agregat

Berikut adalah hasil dari pemeriksaan gradasi agregat

Tabel 1. Hasil Pengujian Gradasi (Analisa Saringan)

No. Saringan		Persentase Lolos Saringan (%)			
Inch	mm	Batu Pecah Eks. Merak (CA)	Limbah Gypsum (FA)	Pasir Kahayan (SA)	
3/4	19	100	100	100	
1/2	12,7	82,33	100	100	
3/8	9,5	34,98	100	100	
No.8	2,36	5,62	66,76	87,65	
No.30	0,6	3,05	32,8	48,49	
No.200	0,075	0,43	2,55	4,67	

Sumber: Hasil Pemeriksaan

Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat

Berikut adalah hasil dari pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Masing-masing Agregat

Pemeriksaan	Batu Pecah Eks. Merak (CA)	Limbah Gypsum (FA)	Pasir Kahayan (SA)	Spesifikasi
Berat Jenis	2,584	2,549	2,535	-
Berat Jenis Kering Permukaan/SSD	2,614	2,591	2,585	-
Berat Jenis Semu	2,664	2,661	2,669	Min. 2,5
Penyerapan (%)	1,155	1,635	1,972	Maks. 3
Keausan/Abrasi	33,583	-	-	Maks. 40
Sand Equivalent	-	-	65,79	Min. 60

Sumber: Hasil Pemeriksaan (2022)

Perencanaan Campuran

Berikut adalah hasil dari perhitungan penggabungan agregat menggunakan cara trial and error.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Metode *Trial and Error*

No. Saringan		Agregat Kasar (CA)		Limbah Gypsum (FA)		Pasir (SA)		Total Kombinasi	Spesifikasi
Inch	mm	100%	38%	100%	30%	100%	32%		
3/4	19	100	38,00	100	30,00	100	32,00	100,00	100
1/2	12,7	82,33	31,29	100	30,00	100	32,00	93,29	90-100
3/8	9,5	34,98	13,29	100	30,00	100	32,00	75,29	65-90
No.8	2,36	5,62	2,14	66,76	20,03	87,65	28,05	50,21	35-55
No.30	0,6	3,05	1,16	32,8	9,84	48,49	15,52	26,52	15-35
No.200	0,075	0,43	0,16	2,55	0,77	4,67	1,49	2,42	2-9
Pan	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0

Sumber: Hasil Pemeriksaan

Hasil perhitungan komposisi campuran berdasarkan cara coba-coba (*Trial and Error*) memenuhi persyaratan gradasi gabungan untuk komposisi campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* yang direncanakan.

Sehingga dapat dihitung untuk penentuan variasi kadar aspal (Pb) sebagai berikut: 1) Nilai *filler* adalah agregat halus yang lolos saringan No.200. diperoleh agregat yang lolos saringan No.200 sebesar 2,42%. Maka nilai *filler* = 2,42%. 2) Untuk nilai CA adalah agregat kasar yang lolos saringan No.8, maka nilai CA = 100% - 50,21 = 49,79%. 3) Sedangkan untuk nilai FA adalah agregat halus lolos saringan No.08 dan tertahan saringan No.200, maka nilai FA = 100% - (%CA + *filler*) = 100% - (49,79% + 2,42%) = 47,79%.

Penentuan kadar aspal (Pb):

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%Filler) + \text{Konstanta}$$

$$P_b = (0,035 \times 49,79) + (0,045 \times 47,79) + (0,18 \times 2,42) + 2,0$$

$$P_b = 6,32 \approx 6,5\%$$

Perhitungan kadar aspal tengah diperoleh mendekati nilai 6,5% yang kemudian diurutkan dua variasi kadar aspal ke bawah dan dua variasi kadar aspal ke atas dengan interval 0,5%. Dari hasil perhitungan perkiraan kadar aspal diperoleh lima variasi kadar aspal yaitu 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, 7,5%. Persentase terhadap berat total agregat yang digunakan yaitu 1200 gram. Perhitungan berat material dan aspal dalam campuran berdasarkan proporsi yang telah ditetapkan adalah sebagai berikut:

Contoh Perhitungan:

Kadar Aspal 6,5%

$$\text{Agregat Kasar (CA)} = 1200 \times 38\% = 456 \text{ gram}$$

$$\text{Agregat Halus (FA)} = 1200 \times 30\% = 360 \text{ gram}$$

$$\text{Pasir (SA)} = 1200 \times 32\% = 384 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Total Agregat} = 1200 \text{ gram}$$

$$\text{Aspal} = \left(\frac{6,5}{100-6,5} \right) \times 1200 = 83,42 \text{ gram}$$

Berat Total Campuran:

$$\text{Berat total agregat} + \text{Aspal} = 1200 + 83,42 \text{ gram} = 1283,42 \text{ gram}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Rencana Komposisi Campuran

Komposisi Campuran	Berat Total Agregat 1200 gram						Berat Total Agregat Campuran	Variasi Kadar Aspal (%)				
	Agregat Kasar (CA)		Limbah Gypsum (FA)		Pasir (SA)			5,5	6	6,5	7	7,5
	%	gram	%	gram	%	gram		Berat Kadar Aspal Terhadap Total Campuran				
	gram											
Limbah Gypsum	38	456	30	360	32	384	1200	69,84	76,60	83,42	90,32	97,30

Sumber: Hasil Pemeriksaan

Pengujian Marshall

Berikut adalah hasil dari pengujian Marshall yang dilakukan.

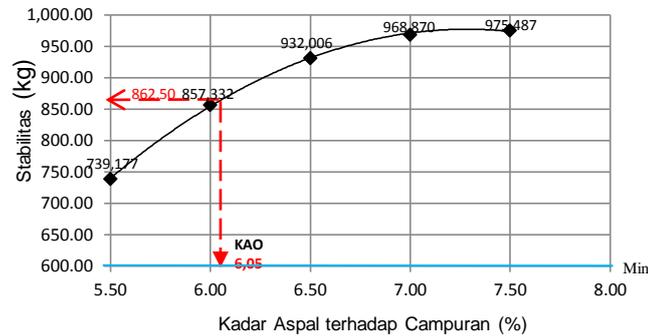
Tabel 4. Hasil Pengujian Parameter Karakteristik Marshall

Kadar Aspal (%)	Parameter Karakteristik Marshall					Keterangan
	Stabilitas (kg)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	MQ (kg/mm)	
5,5	739,177	17,406	5,17	70,31	270,947	VIM Tidak Memenuhi
6	857,332	17,626	4,16	76,4	289,343	Memenuhi
6,5	932,006	17,805	3	83,18	311,236	Memenuhi
7	968,87	18,098	2,11	88,32	334,238	VIM Tidak Memenuhi
7,5	975,487	18,115	2,14	88,21	325,462	VIM Tidak Memenuhi
Spesifikasi	> 600	> 17	> 3-5	> 68	> 250	

Sumber: Hasil Pemeriksaan

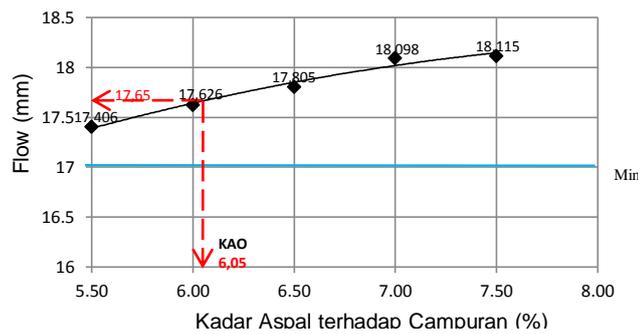
Hasil dari pengujian Marshall ini menunjukkan bahwa kadar aspal 6% dan 6,5% campuran aspal tersebut memenuhi spesifikasi terhadap semua parameter Marshall, sedangkan pada kadar aspal 5,5%,

7% dan 7,5% ada parameter Marshall pada campuran tersebut tidak memenuhi spesifikasi. Dari hasil masing-masing parameter Marshall yang telah diperoleh disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 2.



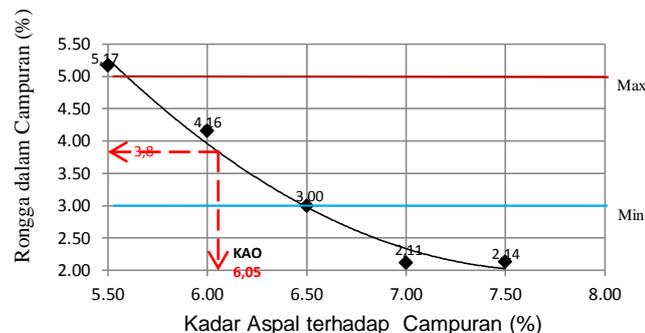
Gambar 2. Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Kadar Aspal

Dari gambar di atas menunjukkan nilai stabilitas tertinggi dicapai pada kadar aspal 7,5% yaitu 975,487 kg dan nilai stabilitas terendah pada kadar aspal 5,5% yaitu 739,177kg. Secara keseluruhan nilai stabilitas memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga (2018) untuk campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* yaitu minimal sebesar 600 kg.



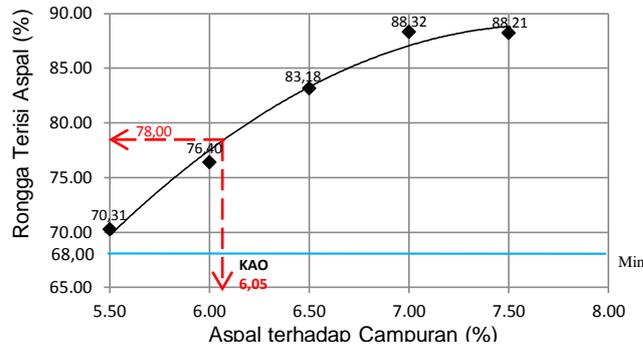
Gambar 3. Grafik Hubungan Rongga Antar Agregat (VMA) terhadap Variasi Kadar Aspal

Dari gambar di atas menunjukkan bahwa nilai tertinggi rongga antar agregat (VMA) terjadi pada kadar aspal 7,5% yaitu sebesar 18,115% dan nilai terendah rongga antar agregat (VMA) terjadi pada kadar aspal 5,5% yaitu sebesar 17,406%. Semua kadar aspal untuk nilai rongga antar agregat (VMA) memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga (2018) untuk campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* yaitu minimal sebesar 17%.



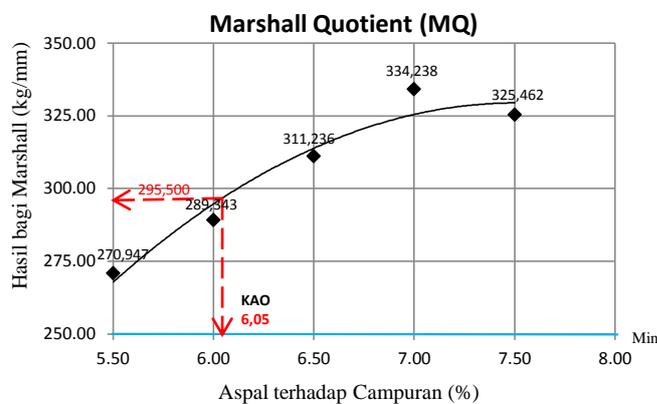
Gambar 4. Grafik Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (VIM) terhadap Variasi Kadar Aspal

Dari gambar di atas menunjukkan pada kadar aspal 5,5%–7,5% menunjukkan bahwa pada kadar aspal tersebut menurunkan kadar rongga udara dalam campuran. Hal ini disebabkan pada kadar 5,5 dengan meningkatnya sampai jumlah kadar aspal 7,5% yang dapat mengisi rongga udara di dalam campuran aspal. Nilai VIM yang memenuhi persyaratan berada pada kadar aspal 6% dan 6,5% diantara 3%–5% persyaratan Spesifikasi Bina Marga (2018) untuk campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)*.



Gambar 5. Grafik Hubungan Rongga Terisi Aspal (VFB) terhadap variasi Kadar Aspal

Gambar di atas menunjukkan bahwa nilai rongga terisi aspal (VFB) cenderung meningkat pada kadar aspal 5,5%–7,5%. Semua nilai VFB memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga (2018) untuk campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* yaitu minimal sebesar 68%.



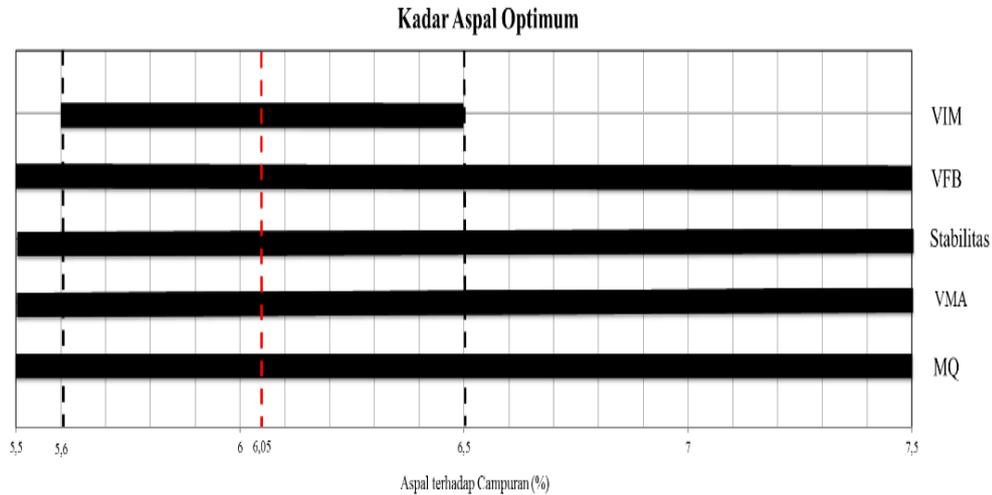
Gambar 6. Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall Variasi Kadar Aspal

Gambar di atas menunjukkan nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) tertinggi terjadi pada nilai kadar aspal 7%, yaitu sebesar 334,238 kg/mm. Sedangkan nilai hasil bagi Marshall terendah terjadi pada nilai kadar aspal 5,5%, yaitu sebesar 270,947 kg/mm. Semua nilai MQ memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga (2018) untuk campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* yaitu minimal sebesar 250 kg/mm.

Penentuan Kadar Aspal Optimum

Setelah melihat grafik-grafik di atas, maka dapat ditentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) secara grafis, yaitu dengan cara memplotkan rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan spesifikasi stabilitas, VMA, VIM, VFB dan *Marshall Quotient*. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada

grafik hubungan kadar aspal, dengan sifat karakteristik Marshall terhadap kadar aspal seperti gambar berikut.



Gambar 6. Grafik Hubungan Nilai Parameter Marshall terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari gambar di atas dapat diketahui nilai dari Kadar Aspal Optimum yang didapat yaitu $(5,6 + 6,5)/2 = 6,05\%$. Hasil evaluasi sifat karakteristik Marshall menunjukkan bahwa rentang kadar aspal 5,6% hingga 6,5% campuran memenuhi semua persyaratan yang ditentukan. Berdasarkan rentang tersebut diambil nilai tengah rentang yaitu 6,05% sebagai nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Dari hasil pengujian maka didapat hasil nilai parameter Marshall KAO % dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. Nilai Parameter Karakteristik Marshall pada Kadar Aspal Optimum

Komposisi Campuran	KAO (%)	Parameter Karakteristik Marshall				
		Stabilitas (kg)	VMA (%)	Rongga dalam Campuran (%)	Rongga Terisi Aspal (%)	Hasil Bagi Marshall (kg/mm)
Limbah Gypsum	6,05	862,5	17,65	3,8	78	295,5
Spesifikasi	-	> 600	>17	3 – 5	>68	>250

Sumber: Hasil Pemeriksaan

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Limbah gypsum sebagai agregat halus dalam perencanaan campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* dari hasil pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat berupa pemeriksaan gradasi (analisa saringan), berat jenis, penyerapan dan keausan agregat semuanya memenuhi persyaratan spesifikasi.
2. Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dihasilkan dari campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* menggunakan limbah gypsum diperoleh nilai sebesar 6,05%.
3. Nilai karakteristik Marshall yang didapat dari Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu stabilitas sebesar 862,5 kg, rongga dalam agregat (VMA) sebesar 17,65%, rongga dalam campuran (VIM) sebesar 3,8%, rongga terisi aspal (VFB) sebesar 78% dan hasil bagi Marshall sebesar 295,5 kg/mm.

Saran

Variasi kadar aspal pada campuran *Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base)* dapat dilakukan dengan interval jumlah kadar aspal yang lebih rapat lagi, agar mendapatkan nilai yang lebih akurat dalam menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, A. A. (2019). *Korelasi Antara Variasi Pemasakan dan Karakteristik Marshall dengan Menggunakan Limbah Cangkang Kerang Hijau Sebagai Agregat Halus pada Campuran Latasir Kelas B. Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)*. ISSN (Cetak) 2527-6042.
- Arliningtyas, S., & Nadia. (2016). *Analisis Kelayakan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Agregat Halus untuk Campuran Aspal Beton Ditinjau dari Nilai Stabilitas Marshall*. *Konstruksia*, 8(1).
- Bahri, S. (2017). *Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas*. *Jurnal Inersia*, 9(2).
- Desiantomy. (2007). *Penuntun Praktikum Bahan Perkerasan Jalan Raya*. Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum (Revisi 2) Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Martina, N. (2019). *Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus pada Campuran Aspal Porous*. *Wahana Teknik Sipil*, 24(2), 144-152.
- Raharmadi, B. (2017). *Pemanfaatan Pasir Sungai Barito Sebagai Bahan Tambah Agregat Halus pada Campuran Hot Rolled Sheet (HRS) Base*. *Jurnal Infrastruktur*, 3(02).
- Siang, R., & Makmur, A. (2020). *Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Terhadap Parameter Marshall Campuran Beraspal Berpori*. *Jurnal Transportasi*, 20(2), 97-104.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Suparma, L. B., Panggabean, T. W., & Mude, S. (2014). *Potensi Penggunaan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Agregat Pengisi pada Campuran Hot Rolled Sheet-Base*. *Jurnal Transportasi*, 14(2), 87-96.
- Suprpto, T. M. (2004). *Bahan dan Struktur Jalan Raya*. Biro Penerbit KMTS FTUGM.
- Zulfikar, I. (2021). *Penggunaan Abu Batu Bara Sebagai Pengganti Agregat Halus pada Campuran Aspal Beton AC-WC*. *Jurnal Artesis*, 1(1), 31-36.