

PEMANFAATAN LIMBAH PERKERASAN ASPAL (*RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT*) SEBAGAI BAHAN PENGGANTI AGREGAT 5-10 PADA CAMPURAN AC-BC (*ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE*) TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Aji Prawistamandala¹, Ir. Eding Iskak Imananto, MT.², Mochammad Erfan, S.T., M.T.³

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: aji.prawista@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu inovasi yang dapat dilakukan untuk pemeliharaan jalan dan pembuatan perkerasan aspal baru adalah dengan memanfaatkan aspal daur ulang limbah dari pengupasan jalan atau biasa disebut dengan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Penggunaan RAP dalam campuran beraspal baru dapat mengurangi jumlah material baru yang harus ditambahkan, menghemat biaya dan sumber daya alam. Teknologi daur ulang memberikan beberapa manfaat, antara lain, untuk mengatasi keterbatasan bahan perkerasan jalan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh kinerja pada campuran limbah perkerasan aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai bahan pengganti agregat 5-10 pada campuran AC-BC dan menentukan presentase limbah perkerasan aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai bahan pengganti agregat campuran AC-BC. Variasi penambahan RAP yang digunakan pada penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dengan variasi kadar aspal mulai dari 4,5% sampai dengan 6,5% didapat nilai KAO sebesar 5.47%. Berdasarkan hasil penelitian didapat nilai stabilitas penambahan RAP 0% sebesar 1052.94 kg dan nilai stabilitas maksimum saat presentase penggunaan RAP 100% sebesar 1232,74 kg. Pengujian menunjukkan bahwa naiknya presentase RAP akan meningkatkan nilai stabilitas. Sifat fisik agregat RAP menunjukkan daya tahan beban mekanis dengan pengujian menggunakan alat *Los Angeles*, hasil menunjukkan presentase keausan agregat RAP lebih kecil dari agregat normal. Aspal yang menyelimuti butir agregat menyebabkan nilai Stabilitas, Flow, Marshall Quotien (MQ), VFA, dan Berat Volume menjadi lebih besar dari pada menggunakan agregat normal. Penurunan nilai VIM dan VMA juga disebabkan dari faktor masih terdapat aspal yang melekat pada agregat mengakibatkan sedikitnya rongga di dalam campuran dan rongga antar agregat

Kata kunci : Agregat, Campuran AC-BC, *Marshall Test*, *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP).

PENDAHULUAN

Pemeliharaan jalan adalah untuk mempertahankan kondisi jalan sesuai dengan tingkat pelayanan dan kemampuan pada saat jalan tersebut selesai dibangun dan dioperasionalkan sampai dengan tercapainya umur rencana yang telah ditentukan. Dalam pelaksanaan pemeliharaan badan jalan terdapat pekerjaan pengupasan/pengerukan perkerasan aspal lama untuk kemudian dilapisi kembali dengan perkerasan aspal baru. Pengupasan lapis perkerasan aspal lama ini dilaksanakan menggunakan *cold milling machine* (mesin pengupas perkerasan) maupun tanpa *cold milling machine*, yang disebut dengan cara manual menggunakan alat seperti *asphalt cutter*, *jack hammer* dan lain-lain

Lapisan AC-BC merupakan lapisan yang terletak di antara lapis aus dan lapis pondasi berdasarkan susunan perkerasan aspal, dimana lapisan ini harus mampu menerima seluruh jenis beban yang bekerja dan menyebarkannya kelapisan di bawahnya berupa muatan kendaraan, gaya rem dan pukulan roda kendaraan (Kafabihi, A 2020). Lapisan AC-BC merupakan bagian dari lapis permukaan diantara lapis pondasi atas (*Base course*) dengan lapis aus (*Wearing course*) yang bergradasi aggregate

gabungan rapat/menerus, umumnya digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat (Sukirman, S. 2008). Keadaan iklim tropis serta perkembangan jumlah beban kendaraan kerap menjadi penyebab utama terjadinya deformasi pada lapisan AC-BC. Untuk itu dibutuhkan campuran beraspal dengan stabilitas tinggi namun tetap mempertahankan nilai kelenturannya.

Salah satu inovasi yang dapat dilakukan untuk pemeliharaan jalan adalah dengan memanfaatkan aspal daur ulang limbah dari pengupasan jalan atau biasa disebut dengan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). RAP dapat digunakan kembali sebagai bahan dasar perkerasan jalan dengan adanya penambahan material agregat baru dan aspal untuk memenuhi kualitas dan spesifikasi dalam perkerasan jalan (Karami, dkk. 2020). Menurut (Widyanti dkk. 2020), RAP merupakan material sisa, sehingga terdapat kelemahan yang dapat mempengaruhi kinerja teknisnya, apabila dimanfaatkan secara langsung untuk perkerasan jalan.

Penggunaan RAP dalam campuran beraspal baru dapat mengurangi jumlah material baru yang harus ditambahkan, menghemat biaya dan sumber daya alam. Selain itu, campuran beraspal panas dengan RAP memiliki performa yang sama dengan

campuran beraspal panas yang dibuat dengan semua material baru. Teknologi daur ulang memberikan beberapa manfaat, antara lain, untuk mengatasi keterbatasan bahan perkerasan jalan (Nono, 2020). Untuk itu, teknologi ini bersifat efisien dan efektif serta dapat mengurangi penggunaan agregat dan aspal baru sehingga nilai ekonomi bahan kupasan meningkat, hemat energi, dan geometrik jalan dapat dipertahankan serta melestarikan sumber daya alam.

Pada penelitian ini membahas pengaruh kinerja pada campuran limbah perkerasan aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai bahan pengganti agregat campuran AC-BC dan menentukan presentase limbah perkerasan aspal (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai bahan pengganti agregat campuran AC-BC. Limbah RAP didapat dari Dinas PU kota Kediri.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian dan Fungsi Aspal

Aspal adalah material termoplastik yang akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspal walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu.

Aspal yang mengandung lilin lebih peka terhadap temperatur di bandingkan dengan aspal yang tidak mengandung lilin. Hal ini terlihat pada aspal yang mempunyai viskositas yang sama pada temperatur tinggi tetapi sangat berbeda viskositas pada temperatur rendah. Kepekaan terhadap temperatur akan menjadi dasar perbedaan umur aspal untuk menjadi retak ataupun mengeras.

Campuran Beraspal

Campuran panas aspal agregat terdiri dari aspal keras yang berfungsi sebagai bahan pengikat dan agregat yang berfungsi sebagai tulangan. Campuran aspal panas dipengaruhi oleh sifat-sifat aspal dan sifat campuran padat material (Nofrianto, dkk., 2021:56). Sifat-sifat dasar yang diperlukan campuran beraspal setelah digelar di lokasi penghamparan adalah:

1. Stabilitas

Campuran harus stabil untuk mendukung beban lalu-lintas yang lewat di atasnya tanpa mengalami deformasi permanen dan deformasi plastis (Chaira & Mawardi, 2019:7) selama umur rencana.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kestabilan campuran, di antaranya adalah sebagai berikut.

- a. Tahanan gesek antara butir agregat (frictional resistance)

Untuk memperoteh tahanan gesek yang cukup dipengaruhi oleh tekstur permukaan agregat, gradasi agregat, bentuk butir, kepadatan campuran, dan mutu dari aspal, dimana hal ini merupakan kombinasi dari tahanan gesek permukaan dan saling mengunci (interlocking) antara butir agregat. Tahanan gesek permukaan bertambah dengan makin kasarnya permukaan dan luas bidang kontak antara butir. Saling menguncinya agregat tergantung dari ukuran dan bentuk butirnya. Agregat kasar yang mempunyai bentuk sudut akan memberikan nilai stabilitas campuran dua kali lipat dibandingkan dengan agregat bulat.

- b. Kohesi atau daya lekat

Daya lekat antara aspal dengan agregat harus cukup kuat untuk menjaga tekanan kontak yang diperoleh di antara butiran agregat.

2. Durabilitas

Durabilitas adalah suatu sifat yang menggambarkan sifat campuran yang cukup tahan akibat pengaruh cuaca dan beban lalu-lintas selama umur rencana tanpa mengalami kerusakan berarti. Agar memiliki campuran dengan durabilitas yang baik maka ada beberapa hal yang harus dipenuhi.

- a. Kadar aspal yang tinggi dalam campuran

Untuk memperoleh durabilitas yang tinggi diperlukan kadar aspal yang relatif tinggi dalam campuran beraspal agar butir-butir agregat diselimuti film aspal yang cukup tebal sehingga campuran lebih tahan terhadap pengaruh oksidasi akibat pengaruh cuaca. Namun apabila kadar aspal terlalu tinggi akan menyebabkan campuran akan kehilangan stabilitas yang cukup, sehingga tingginya kadar aspal sangat relatif.

- b. Rongga di antara mineral agregat (VMA) yang cukup

Nilai VMA sangat dipengaruhi oleh gradasi agregat dalam campuran, bentuk dan tekstur permukaan agregat. Apabila VMA terlalu rendah akan menyebabkan tidak akan tersedianya ruang yang cukup untuk menampung aspal dan memberikan film aspal yang cukup tebal pada permukaan butir agregat. VMA yang rendah akan lebih rentan terhadap perubahan kadar aspal campuran daripada nilai VMA yang lebih tinggi, namun apabila nilai VMA terlalu tinggi, campuran tidak mempunyai stabilitas yang cukup.

3. Fleksibilitas

Campuran pada lapisan beraspal harus memiliki tingkat fleksibilitas yang cukup sehingga mampu menahan lendutan akibat beban lalu-lintas tanpa mengalami retak. Pada lapisan yang kurang fleksibel maka jalan dapat mengalami retak akibat: perubahan

daya dukung lapisan di bawahnya, pengulangan keruntuhan akibat waktu pembebanan, dan perubahan volume lapisan di bawahnya. Maka agar campuran memiliki fleksibilitas yang tinggi, harus memenuhi: kadar aspal yang relatif tinggi, dan VMA yang cukup.

4. Kedap air

Musuh utama jalan adalah air, diharapkan lapisan beraspal cukup kedap air sehingga air tidak dapat masuk ke dalam struktur perkerasan jalan yang akan memperlemah lapisan di bawahnya. Untuk memperoleh lapisan yang kedap air, dalam campuran diperlukan kadar aspal yang cukup tinggi, sehingga dapat menahan tegangan penebaran akibat tekanan air dan beban kendaraan yang melewatinya.

5. Kekesatan

Jalan beraspal harus cukup kesat, karena berhubungan dengan keselamatan penggunaannya. Jalan yang tidak atau kurang kesat dapat membahayakan pengguna karena rawan tergelincir. Agar jalan beraspal memiliki nilai kekesatan yang cukup, maka harus: memiliki kadar aspal yang relatif rendah; gradasi agregat yang cukup kasar; dan tekstur mikro dari agregat.

Untuk memperoleh sifat-sifat campuran yang dikehendaki, dimana setiap pemenuhannya akan saling tarik menarik antara yang satu dengan yang lainnya diperlukan persyaratan dalam spesifikasi. Kepadatan mutlak merupakan suatu kepadatan maksimum atau rongga dalam campuran (VMA, VIM) minimum. Apabila rongga ini tidak dibatasi akan terjadi perbedaan rongga yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dengan rongga dari hasil uji Marshall yang akan mengakibatkan terjadinya defonnasi plastis atau retak-retak setelah campuran beraspal digelar di lapangan.

Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)

Lapis aspal beton atau AC (Asphalt Concrete) merupakan salah satu campuran beraspal dengan kekuatan campuran ditentukan oleh daya ikat (interlocking) antar agregat, bahan pengisi (filler) dan bahan pengikat (asphalt). Daya ikat antar agregat merupakan penyokong utama bagi kekuatan dan performa material pada struktur perkerasan. Oleh karena itu, permukaan jalan dapat menahan beban dengan baik ketika kendaraan melewatinya AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) adalah salah satu dari tiga macam campuran Asphalt Concrete, yaitu AC-BC (Asphalt Concrete Binder Course), AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course), AC-Base, perbedaan ketiga campuran ini terletak pada perbedaan ukuran bahan agregat yang digunakan sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

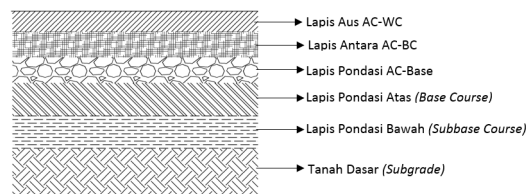
Tabel 1. Ketentuan campuran aspal AC-BC

Sifat-Sifat Campuran	Nilai
Jumlah Tumbukan per bidang	75
Kadar Rongga di dalam Campuran (VIM%)	Min.3,0 - Max.5,0
Rongga dalam Agregat (VMA%)	Min.14
Rongga Terisi Aspal %	65
Stabilitas Marshall	Min. 800
Pelelehan (Flow)	Min. 2 – Max 4

Sumber: Spesifikasi Umum 2018, Divisi 6

Lapisan AC-BC merupakan bagian dari lapis permukaan diantara lapis pondasi atas (Base course) dengan lapis aus (Wearing course) yang bergradasi agregat gabungan rapat/menerus, umumnya digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat (Sukirman, S. 2008). Lapisan AC-BC mempunyai fungsi antara lain :

1. Mengurangi tegangan / regangan akibat beban lalu lintas dan meneruskannya ke lapis di bawahnya
2. Mempunyai kekuatan yang tinggi pada bagian perkerasan untuk menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas



Gambar 1: Struktur Perkerasan Lapisan Aspal

Sumber: Silvia Sukirman 2010, Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan

Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat biasanya mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan dimana saringan yang paling kasar diletakan di atas dan yang paling halus terletak paling bawah. 1 set saringan di mulai dari pan dan diakhiri dengan tutup. Gradasi agregat dibedakan atas:

- a. Gradasi seragam (uniform grade).
 Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (open grade) karena hanya mengandung sedikit sekali agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porous atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil.
- b. Gradasi rapat (dense graded).

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus dalam porsi yang seimbang, sehingga sering disebut gradasi menerus atau gradasi baik (well grade). Agregat dikatakan bergradasi baik jika presentase yang lolos setiap lapis dari sebuah gradasi memenuhi:

$$P = 100 (d/D) 0,4$$

Keterangan:

P = Presentase lolos saringan.

d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan.

D = Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka.

Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas yang tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek dan berat volume besar.

c. Gradasi senjang (gap graded).

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak antara agregat bergradasi seragam dan agregat bergradasi rapat. Gradasi agregat yang ditentukan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Prov. Jatim 2018.

Tabel 2. Ketentuan campuran aspal AC-BC

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat		
		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1 1/2"	37,5			100
1"	25		100	90 - 100
3/4"	19	100	90 - 100	76 - 90
1/2"	12,5	90 - 100	75 - 90	60 - 78
3/8"	9,5	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	53 - 69	46 - 64	35 - 54
No.8	2,36	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,6	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,3	9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,15	6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 hal. 6 – 39

RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) merupakan material yang dihasilkan dari pengerukan sebagian atau keseluruhan dari lapisan perkerasan jalan. RAP dapat digunakan kembali sebagai bahan dasar perkerasan jalan dengan adanya penambahan material agregat baru dan aspal untuk memenuhi kualitas dan spesifikasi dalam perkerasan jalan (Karami, dkk. 2020). Menurut (Widyanti dkk. 2020), RAP merupakan material sisa, sehingga terdapat kelemahan yang dapat mempengaruhi kinerja

teknisnya, apabila dimanfaatkan secara langsung untuk perkerasan jalan.

Penggunaan RAP dalam campuran beraspal baru dapat mengurangi jumlah material baru yang harus ditambahkan, menghemat biaya dan sumber daya alam. Selain itu, campuran beraspal panas dengan RAP memiliki performa yang sama dengan campuran beraspal panas yang dibuat dengan semua material baru.



Gambar 2: RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)
 Sumber: Dokumentasi

Metode Karakteristik Marshall

Rancangan campuran berdasarkan metode marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Prinsip dasar metode marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan Kelelahan (flow), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Alat marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin pengujian) berkapasitas 22,2 KN (5000 pon) dan flowmeter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan flowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Benda uji marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inc (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inc (6,35 cm). Prosedur pengujian marshall mengikuti SNI 06-2486-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76.



Gambar 3: Alat Test Marshall
 Sumber: Dokumentasi

Parameter marshall yang dihitung antara lain: VIM, VMA, VEA, berat volume, dan parameter lain sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran. Setelah semua parameter briket didapat, maka digambar grafik hubungan kadar aspal dengan parameternya yang kemudian dapat ditentukan kadar aspal optimumnya. Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi marshall test modifikasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental yang akan dilaksanakan di laboratorium Bahan Konstruksi Institut Teknologi Nasional Malang Jl. Sigura-Gura No.2, Sumber Sari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur

Metode Penelitian

Tahap awal penelitian dilakukan pengambilan data berdasarkan hasil dan pengujian bahan aspal dan mutu agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran. Selanjutnya dilakukan campuran dengan kadar campuran agregat yang berbeda-beda.

Jenis penelitian yang dilakukan ini adalah penelitian kuantitatif, yaitu penelitian yang berdasarkan pengalaman empiris dengan mengumpulkan data berbentuk angka yang bisa dihitung dan berbentuk numerik. Pada penelitian kuantitatif maka cara pengumpulan data, Analisa data, dan hasil analisa akan ditampilkan berbentuk angka. Sehingga data yang digunakan adalah data kuantitatif yang berbentuk angka atau data yang diangkakan, kemudian diinterpretasikan untuk selanjutnya diambil keputusan dan kesimpulan. Spesifikasi acuan dalam penelitian ini adalah menggunakan spesifikasi standar yang diterapkan oleh Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 mengenai Perkerasan Aspal.

Benda Uji

Pengumpulan benda uji dengan cara membuat sampel dengan mencetak benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10,16 cm dan tinggi benda uji 6,35 cm, dan dibutuhkan ± 1200 gr, campuran bahan untuk masing-masing benda uji.

Benda uji dibuat melalui proses pemanasan, pengadukan, dan pemadatan antara campuran agregat dan aspal (sesuai dengan (SNI 06-2489-1991)). Jumlah benda uji dapat dilihat pada table 3.1 adapun cara pembuatan benda uji sendiri ada beberapa langkah yang harus kita lakukan, antara lain :

1. Peneliti harus menyiapkan agregat yang akan digunakan terlebih dahulu. Setelah di persiapkan maka agregat akan dimasukkan kedalam oven agar agregat mengering pada temperatur 105°C -

110°C , lalu setelah dikeringkan dalam oven maka agregat akan di saring dengan saringan yang sudah disiapkan. Setelah melalui tahap itu dilanjutkan terhadap benda uji agregat yang meliputi impact, abrasi Los Angeles, berat isi, berat jenis halus, angularity, flakines.

2. Menimbang agregat sesuai dengan presentase agregat campuran yang telah dihitung, kemudian benda uji akan dibuat sebanyak 3 buah pada masing-masing variasi kadar aspal.
3. Memanaskan agregat dengan wajan diatas kompor pemanas hingga mencapai suhu $\pm 155^{\circ}\text{C}$, demikian pula dengan aspalnya hingga mencapai suhu $\pm 145^{\circ}\text{C}$.
4. Kemudian mencampur agregat agregat panas dengan aspal lalu diaduk secara merata diatas kompor panas yang memiliki suhu $\pm 155^{\circ}\text{C}$.
5. Setelah selesai dicampur rata maka campuran agregat+aspal panas tersebut dimasukan kedalam cetakan atau mold yang alasnya sudah di pasang kertas saringan yang sudah dioleskan campuran solar & oli. Dalam proses memasukan campuran ke dalam mold campuran di masukan dalam 3 lapis, masing-masing lapis distusuk spatula sebanyak 15 kali di bagian pinggir dan 10 kali ditengah.
6. Tutup bagias atas dengan kertas saringan lagi yang sudah dioleskan campuran solar & oli
7. Melakukan pemadatan dengan alat marshall automatic compactor sebanyak 75 kali tumbukan sisi bagian atas dan 75 kali tumbukan sisi bagian bawah.
8. Benda uji didiamkan terlebih dahulu ± 1 menit agar suhunya turun, setelah itu benda uji di keluarkan dari mold atau cetakan dan diberi kode atau tanda untuk mempermudah mengenali benda uji, biasanya seperti tipe-ex.
9. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel lalu didiamkan 24 jam
10. Setelah 24 jam maka benda uji dapat dilakukan pengujian marshall. Sebelum melakukan pengujian marshall, hal yang perlu dilakukan adalah perendaman benda uji pada suhu air $\pm 60^{\circ}\text{C}$. pada penelitian ini dilakukan perendaman dengan durasi 30 menit.

Tabel 3. Rancangan campuran benda uji

Pengujian	Variasi kadar aspal (%)					Jumlah Sample
	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 kasar aspal (RAP) Reclaimed Asphalt Pavement					Jumlah Sample
	p-1	p-0.5	p	p+0.5	p+1	
Pengujian Marshall untuk beberapa variasi kadar pengganti agregat (RAP)	3	3	3	3	3	15
TOTAL BENDA UJI						30

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Mutu Bahan

Pada penelitian ini, bahan – bahan yang digunakan berupa agregat kasar, agregat halus, aspal pertamina, yang di dapatkan dari AMP Proyek JLS Tulungagung – Trenggalek PT. Gorga Mandiri. Limbah perkerasan / Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) jalan yang digunakan adalah limbah yang didapatkan dari hasil pengupasan menggunakan alat Cold Milling dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Kediri.

Hasil Pengujian Agregat

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat AMP PT Gorga Mandiri

No.	Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan	
1	Berat Jenis Agregat 0-5	SNI 1970 : 2008	≥ 2,50	2,56	-	Memenu	
2	Penyerapan Agregat 0-5		≤ 3	0,66	%	Memenu	
3	Gum. Lempung & Butir Mudah Pecah	SNI 03 - 4141 - 1996	≤ 1	0,88	%	Memenu	
4	Material lolos ayakan No. 200 (0 - 5)		SNI ASTM C117 : 2012	≤ 10	6,85	%	Memenu
5	Berat Jenis Agregat 5-10	SNI 1969 : 2008	≥ 2,50	2,58	-	Memenu	
6	Berat Jenis Agregat 10-10			2,59	-	Memenu	
7	Berat Jenis Agregat 10-20		2,60	-	Memenu		
9	Penyerapan Agregat 5-10		2,06	%	Memenu		
10	Penyerapan Agregat 10-10		1,92	%	Memenu		
11	Penyerapan Agregat 10-20		1,86	%	Memenu		
13	Material lolos ayakan No. 200 (5 - 10)		ASTM C117 : 2012	≤ 1	0,88	%	Memenu
14	Material lolos ayakan No. 200 (10 - 10)				0,70	%	Memenu
15	Material lolos ayakan No. 200 (10 - 20)				0,60	%	Memenu
16	Butir pecah Agregat Kasar 10/10		SNI 7619 : 2012	95/90	100,00	%	Memenu
17	Butir pecah Agregat Kasar 10/20	100,00			%	Memenu	
18	Abrasi 100 Putaran	SNI 2417 : 2008	≤ 8	6,97	%	Memenu	
19	Abrasi 500 Putaran		≤ 40	25,96	%	Memenu	
22	Keklekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI 2439 : 2011	≥ 95	100,00	%	Memenu	

Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 5. Hasil Pengujian Agregat RAP Dinas PU Kediri

No.	Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
1	Berat Jenis Limbah Aspal	SNI 1969 : 2008	≥ 2,50	2,62	-	Memenu
2	Pemerapan Limbah Aspal		≤ 3	1,92	%	Memenu
3	Abrasi 100 Putaran Limbah Aspal	SNI 2417 : 2008	≤ 8	5,89	%	Memenu
4	Abrasi 500 Putaran Limbah Aspal		≤ 40	23,57	%	Memenu

Sumber: Hasil Penelitian

Hasil pengujian material / agregat AMP PT. Gorga Mandiri Proyek JLS Tulungagung - Trenggalek untuk agregat kasar dan agregat halus memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2018, dimana ukuran ayakan maksimum pada saringan yang lolos No.200 tidak boleh lebih dari 1% untuk agregat kasar tidak boleh lebih dari 10% untuk

agregat halus. Dari hasil pengujian didapatkan presentase agregat kasar yang lolos saringan No.200 sebesar 0% dan presentasi agregat halus yang lolos saringan No.200 sebesar 8.93%.

Agregat yang banyak mengandung material yang lolos saringan No.200, jika digunakan sebagai bahan campuran beton aspal, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah. Hal ini disebabkan material halus membungkus partikel agregat yang lebih kasar, sehingga ikatan antara agregat dengan bahan pengikat, yaitu aspal akan berkurang dan berakibat mudah lepasnya ikatan antara agregat dan aspal (Sukirman, 2016).

Pengujian material Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Kediri memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2018. Dari hasil pengujian didapatkan presentase abrasi pada 100 kali putaran sebesar 5.89 % lebih kecil dari persyaratan ≤ 8 %, pada 500 kali putaran sebesar 25.96% lebih kecil dari persyaratan ≤ 40%.

Tabel 6. Hasil Ekstraksi Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

Uraian	Nilai		Rata - rata
	1	2	
Kode Sampel			
Berat kertas saring + sampel awal	506.9 gr	506.9 gr	506.9 gr
Berat kertas saring awal	6.9 gr	6.9 gr	6.9 gr
Berat sampel (A)	500 gr	500 gr	500 gr
Berat kertas saring + sampel sesudah	496.6 gr	499.6 gr	498.1 gr
Berat kertas saring + mineral	7 gr	7.1 gr	7.05 gr
Berat endapan (B)	489.7 gr	492.7 gr	491.2 gr
Kadar aspal = $\frac{A - B}{A} \times 100\%$	2.06 %	1.46 %	1.76 %

Sumber: Hasil Penelitian

Dari hasil ekstraksi agregat Reclaimed Asphalt Pavemet (RAP), diketahui bahwa RAP dari Dinas PU Kediri mengandung kadar aspal rata-rata 1.76% dari dua sample objek penelitian, berdasar data tersebut dinyatakan tidak memenuhi spesifikasi RAP dimana ketentuan kadar aspal persyaratan minimal 3.8% (Tabel 7). Menurut (Karami, dkk 2020) RAP dapat digunakan kembali sebagai bahan dasar perkerasan jalan dengan adanya penambahan material agregat baru dan aspal untuk memenuhi kualitas dan spesifikasi dalam perkerasan jalan.

Tabel 6. Spesifikasi RAP

Karakteristik	Persyaratan
Kadar aspal dalam RAP %	Min. 3.8
Penetrasi aspal RAP pada suhu 25°C, 100 gr, 5 detik, 0.1mm	Min. 20
Presentase agregat lolos ayakan 75µm (No. 200)	Maks. 5.0 %

Sumber: NAPA (National Asphalt Pavemet Association) 2015

Hasil Pengujian Aspal

Dari hasil pengujian agregat diketahui bahwa pengujian material agregat memenuhi Spesifikasi

Umum Bina Marga 2018 untuk digunakan sebagai bahan campuran aspal AC-BC. Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada tabel :

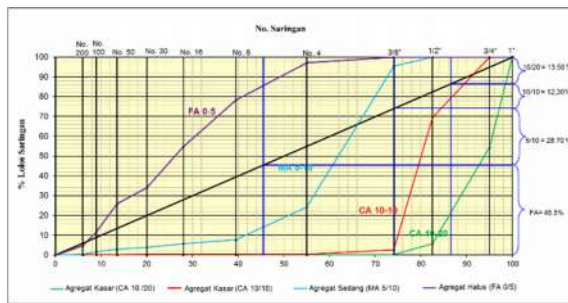
Tabel 7. Hasil Pengujian Kehilangan Berat dan Aspal

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	103.0	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	101	cm	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian

Perencanaan Komposisi Campuran

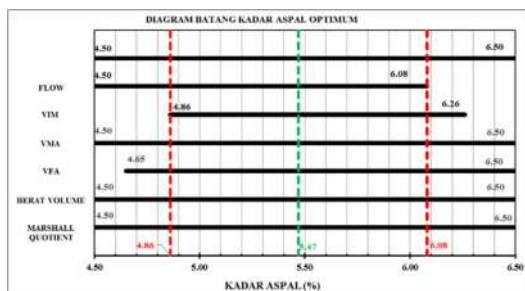
Setelah dilakukan pemeriksaan analisa gradasi untuk mengetahui berat dan prosentase agregat yang lolos pada masing – masing saringan, maka selanjutnya dihitung proporsi agregat dalam campuran dengan menggunakan metode grafis seperti pada grafik dan tabel komposisi campuran agregat di bawah ini :



Gambar 4: Grafik Diagonal Komposisi Campuran Agregat AC-BC

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian

Kadar Aspal Optimum Tanpa RAP



Gambar 5: Diagram Batang Kadar Aspal Optimum (KAO)

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian

Komposisi Campuran Agregat RAP

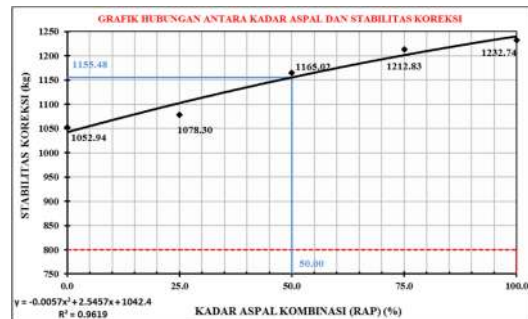
Setelah proporsi prosentase masing-masing agregat dan KAO diketahui, maka selanjutnya dilakukan perhitungan campuran kadar Limbah Aspal dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat agregat 5-10.

Tabel 8. Komposisi Campuran Menggunakan RAP

Jenis Material	Variasi Kadar Limbah Hotmix Terhadap Agregat 5 - 10 (%)				
	0	25	50	75	100
	Komposisi (%)				
Limbah Hotmix	0.00	6	12	18	24
10 - 20	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
10 - 10	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
5 - 10	24.00	18.00	12.00	6.00	0.00
0 - 5	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
Filler	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	KADAR ASPAL OPTIMUM (%)				
Jenis Material	5,47				
	Berat Agregat (gr)				
Limbah Hotmix	0.0	68.1	136.1	204.2	272.2
10 - 20	124.8	124.8	124.8	124.8	124.8
10 - 10	136.1	136.1	136.1	136.1	136.1
5 - 10	272.2	204.2	136.1	68.1	0.0
0 - 5	578.5	578.5	578.5	578.5	578.5
Filler	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
Berat total Ag. Camp. (gr)	1134.4	1134.4	1134.4	1134.4	1134.4
Berat aspal (gr)	65.64	65.6	65.6	65.6	65.6
Berat total campuran (gr)	1200.0	1200.0	1200.0	1200.0	1200.0

Sumber: Hasil Penelitian

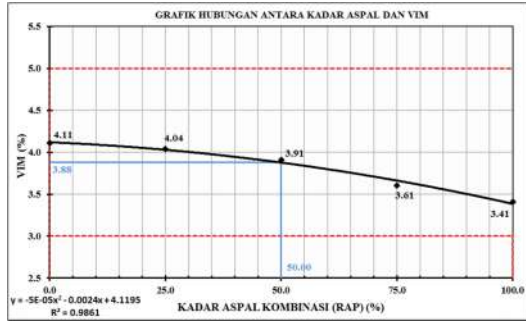
Hasil dari pencampuran dan penggantian agregat 5-10 kedalam komposisi campuran AC-BC berdasar KAO yang telah diperoleh sebesar 5,47%. Berdasarkan dari hasil perhitungan parameter marshall sebagaimana digambarkan pada grafik dibawah ini:



Gambar 6: Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Kombinasi (RAP) dan Stabilitas Koreksi

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian

Dari grafik 4.12 di atas dapat diketahui bahwa kadar aspal kombinasi RAP dengan stabilitas batas minimum 800 kg, dapat dilihat nilai stabilitas berada pada range 1052,94 kg sampai dengan 1232,74 kg pada presentase limbah perkerasan aspal RAP sebagai pengganti dari 0% sampai 100%. Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada RAP 100% dengan nilai 1232,74 kg. Nilai pada grafik diatas ini menyatakan identik landai naik nilai stabilitasnya. Hal ini disebabkan semakin besar presentase RAP yang dipakai maka nilai stabilitasnya semakin tinggi, dapat diartikan kekuatannya semakin meningkat yang di sebabkan dari peningkatan jumlah agregat RAP.



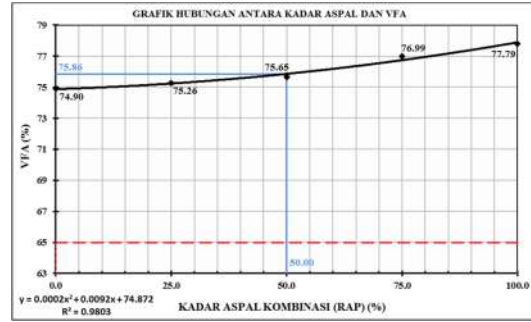
Gambar 7: Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Kombinasi (RAP) dan VIM
Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa kadar aspal kombinasi RAP dengan VIM (Voids in The Mix / Rongga udara didalam campuran) min. 3 dan mak. 5 dapat dilihat nilai VIM berada pada range 4,11% sampai dengan 3,41% pada presentase limbah perkerasan aspal / RAP sebagai pengganti dari 0% sampai 100%. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa nilai VIM mengalami penurunan nilai seiring meningkatnya presentase limbah perkerasan aspal RAP sebagai pengganti. Nilai VIM mencapai nilai minimum 3,41% pada kadar agregat RAP sebagai pengganti tertinggi pada penelitian ini yaitu 100%. Hal ini disebabkan dari faktor masih terdapat aspal yang melekat pada agregat mengakibatkan sedikit rongga didalam campuran beraspal.



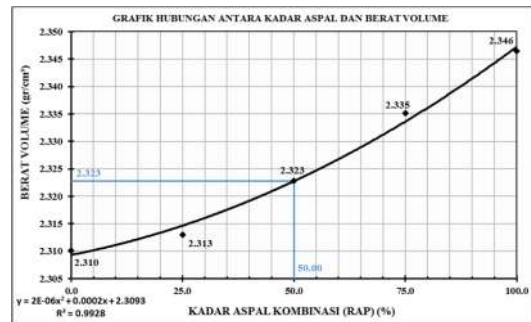
Gambar 8: Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Kombinasi (RAP) dan VMA
Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa kadar aspal kombinasi RAP dengan VMA (Voids in The Mineral Agregate / Rongga dalam aggregate mineral dengan Batasan minimal 14%). Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai VMA berada pada range 16,36% sampai dengan 15,35% pada presentase limbah perkerasan aspal / RAP sebagai pengganti dari 0% sampai 100%. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa nilai VMA cenderung menurun nilainya pada kadar agregat RAP sebagai pengganti semakin besar. Hal ini disebabkan dari faktor masih terdapat aspal yang melekat pada agregat mengakibatkan rongga antar agregat semakin kecil.



Gambar 9: Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Kombinasi (RAP) dan VFA
Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa kadar aspal kombinasi RAP dengan VFA (Voids Filled with Asphalt / rongga terisi aspal) min. 65% dapat dilihat nilai VFA berada pada range 74,90% sampai dengan 77,79% pada presentase limbah perkerasan aspal / RAP sebagai pengganti dari 0% sampai 100%. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa nilai VFA cenderung naik, serta mencapai nilai maksimum pada kadar agregat RAP sebagai pengganti semakin besar, agregat limbah perkerasan aspal yang digunakan memiliki rongga yang sudah terisi aspal.



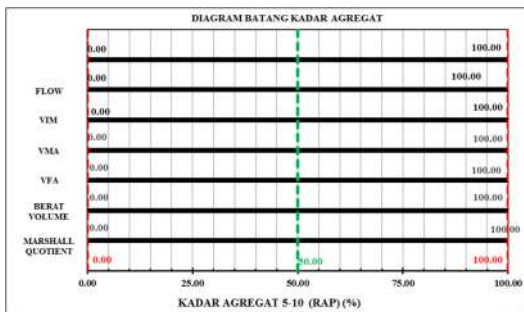
Gambar 10: Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Kombinasi (RAP) dan Berat Volume
Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa kadar aspal kombinasi RAP dengan berat volume dapat dilihat nilai berat volume berada pada range 2,310 sampai dengan 2,346 pada presentase limbah perkerasan aspal / RAP sebagai pengganti dari 0% sampai 100%. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa nilai berat volume cenderung naik, serta mencapai nilai maksimum pada kadar agregat pengganti 100%



Gambar 11: Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Kombinasi (RAP) dan *Marshall Quotien*
Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa kadar aspal kombinasi RAP dengan MQ dapat dilihat nilai MQ (Marshall Quotient / Hasil bagi marshall) berada pada range 297,95 kg/mm sampai dengan 313,75 kg/mm pada presentase limbah perkerasan aspal / RAP sebagai pengganti dari 0% sampai 100%. Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa nilai MQ mengalami kenaikan. Dimana semakin tinggi kadar presentase RAP sebagai pengganti agregat maka nilai MQ semakin meningkat.



Gambar 12: Diagram Batang Kadar Agregat RAP
Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian

Ditinjau dari grafik di atas untuk mendapatkan kadar agregat optimum terlihat pada grafik yang mana dikelompokkan menjadi dua sisi dari perpotongan kadar agregat optimum yaitu sisi kiri dan sisi kanan. Sisi kiri menyatakan batas maksimum dan sisi kanan menyatakan batas minimum. Dari hasil penelitian dan perhitungan tersebut di atas menunjukkan nilai tengah kadar agregat RAP sebesar 50,00%.

KESIMPULAN

1. Dapat ditinjau pada (gambar 12) untuk mendapatkan kadar agregat optimum dikelompokkan menjadi dua sisi dari perpotongan kadar agregat optimum yaitu sisi kiri dan sisi kanan. Sisi kiri menyatakan batas minimum dan sisi kanan menyatakan batas maksimum, sehingga dari hasil penelitian dan perhitungan tersebut

- menunjukkan nilai kadar agregat optimum kombinasi RAP sebesar 50,00%.
2. Berikut merupakan hasil kinerja Marshall pada variasi campuran menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) :

Tabel 9. Hasil test Marshall pada variasi RAP 50%

Pengujian	Nilai / Hasil
Stabilitas	1165.02
Flow	3.80
VMA	16.05
VIM	3.91
VFA	75.65
Marshall Quotien	306.64

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penelitian

Dapat dilihat pada (Gambar 5.1) diketahui bahwa nilai diagram batang memenuhi semua aspek dari karakteristik marshall yaitu pada pencampuran Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) 100%. Aspal yang menyelimuti butir agregat menyebabkan nilai Stabilitas, Flow, Marshall Quotien (MQ), VFA, dan Berat Volume menjadi lebih besar dari pada menggunakan agregat normal. Penurunan nilai VIM dan VMA juga disebabkan dari faktor aspal yang melekat pada agregat mengakibatkan sedikitnya rongga di dalam campuran dan rongga antar agregat

DAFTAR PUSTAKA

- 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. (2018). Ketentuan Agregat Kasar. Sni 03-3407-1994, 6–37.
- Anonim. (2011a). Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras. Badan Standar NasionalIndonesia. <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/648/sni-24412011-cara-ujiberat-jenis-aspal-keras.pdf>
- Anonim. (2011b). Cara uji Daktilitas Aspal. Standar Nasional Indonesia, 1–15. <https://dokumen.tips/documents/sni-2432011cara-ujidaktilitas.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 Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan Divisi 6

- Ambia et al. (2022) Pengaruh Penambahan Styrofoam Terhadap Material Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Campuran Asphalt Concrete -Binder Course (AC-BC). *Jurnal Sipil Sains Terapan* Vol. 5
- Iduwin et al. (2020) Uji Marshall Immersion Pada Campuran AC-WC Menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Jurnal Forum Mekanika* Vol. 9 No 2 November 2020
- Kafabihi, Wedyantadji, and Imananto (2020) Penggunaan Aspal Buton Pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete - Wearing Course). *Jurnal Gelagar ITN- Vol 2*
- Nofrianto et al. (2021). Kajian Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Panas Aspal Agregat (AC-BC). *Journal of Lppm Umsb – Vol 15, 2021*
- Nono (2017). Campuran Beraspal Hemat Agregat dan Aspal. LIPI Press
- Mega et al. (2020). Karakteristik Campuran Aspal Panas Menggunakan Bahan Campuran RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) Pada Berbagai Ukuran Agregat Nominal. *Journal Rekayasa Sipil dan Desain* Vol 8 2020 <https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsd/article/view/1447>
- Santoso (2023). Pemanfaatan Aspal Daur Ulang Untuk Pembuatan (Aspal Concrete Binder Course) AC-BC Berdasarkan Spesifikasi Umum Binamarga 2018 dan Spesifikasi Khusus Bina Marga 2019 Dengan Menggunakan Filler Abu SekamPadi. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasatekniksipil/article/view/51312>
- Sachrullah (2022). Studi Analisis Pemanfaatan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Pada Kerusakan Jalan dan Sifat Marshall Campuran Aspal Panas. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1693>
- Sugiyono (2017). Statistik Untuk Penelitian. Penetbit Alfabeta Bandung – Cetakan ke-29
- Sukirman, S (2010). Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur, NOVA
- Sukirman, S (2016). Beton Aspal Campuran Panas, NOVA
- West and Copeland (2015). High RAP Asphalt Pavements, National Asphalt Pavement Association (NAPA) - Series 139
- Widayanti et al. (2020). Analisis Pemanfaatan Zat Aditif pada Reclaimed Asphalt Pavement Untuk Lapisan Beton Aspal. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas – Vol 4, No 1, Januari 2020*
- Zhain et al. (2022) Pengaruh Penambahan RAP Sebagai Peningkat Kualitas Campuran Beraspal Panas. *Journal of infrastructure and Facility Asset Management – Vol 4, April 2022*