



Research Article

PEMANFAATAN *RECYCLING ASPHALT* UNTUK LAPISAN AC-WC DENGAN PENAMBAHAN MATERIAL *BOTTOM ASH* PADA PERKERASAN

Deliansyah Pasayu¹⁾, Joni Arliansyah^{1*)}, dan Edi Kadarsa¹⁾¹⁾Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

Received: 23 November 2022, Accepted: 15 July 2023, Published: 26 July 2023

Abstract

Increasing road construction by adding a thick layer of asphalt on flexible pavement can cause problems, where the more viscous the asphalt layer, the higher the road will be than the houses. In addition, limited natural resources and large-scale use can damage the environmental system and make raw materials increasingly scarce, and their prices continue to increase. This research aims to show that recycled asphalt and bottom ash materials can be reused for flexible pavements. Researchers used experimental methods in the laboratory by testing using the Marshall Test. The results of this study indicate that the asphalt resistance based on the compressive strength of the asphalt mixture of recycled materials and the combination of recycled materials and bottom ash of 10% and 15% so that the values of VMA, VFA, Stability, Meltability, and MQ values obtained from the Marshall Test according to with the General Specifications of Highways of the Ministry of Public Works. It was obtained from the provisions of the physical and mechanical test results of Bottom Ash sourced from the Petra UK Road Materials Laboratory Research with the bottom ash parameter passing the sieve of 18.2%. From the results of all asphalt tests, it is known that the addition of bottom ash to asphalt recycling where the extracted material from recycled asphalt (recycled) both asphalt and the aggregate material itself cannot be reused for flexible pavement layers. This is because the condition of asphalt recycling is old, and the strength of the material itself is weak, so it cannot last long if it is reused.

Key Words: *bottom ash, flexible pavement, recycling asphalt.*

1. PENDAHULUAN

Tiza (2020) menyebutkan bahwa awal dari kerusakan jalan disebabkan oleh adanya peningkatan jumlah pengguna kendaraan (beban lalu lintas yang padat) yang mungkin tidak dipertimbangkan dengan hati-hati pada suatu jalan. Desi (2020) menyebutkan bahwa penggunaan teknologi modern dengan menerapkan prinsip *green roads* perlu mendapatkan prioritas sehingga dapat meminimalisasi permasalahan yang terjadi, salah satunya adalah dengan memanfaatkan teknologi daur ulang. Menurut Enieb (2020), pemanfaatan metode daur ulang bisa meminimalkan penggunaan aspal per 60/70, dengan demikian penggunaan aspal minyak lebih hemat, selain itu penerapan metode ini dapat menghemat biaya, yaitu dengan mereduksi penggunaan agregat yang ketersediaannya semakin lama semakin berkurang. Penggunaan kembali RAP (pengikat dan agregat) dengan material yang baru dapat mengurangi jumlah bahan yang digunakan dan dapat mengurangi material sisa. Meskipun perkerasan aspal yang sudah tua telah mengalami

degradasi dan mencapai akhir masa pakainya, baik agregat maupun pengikat yang sudah tua masih dapat berguna dan dapat kembali digunakan. Seferoglu (2018) menyebutkan RAP merupakan bahan yang buruk dalam hal daya dukung bila dipergunakan sendiri, untuk itu sebaiknya RAP di campur dengan semen. Krupa (2018) menyatakan bahwa bahan atau material sumber daya alam yang terbanyak dipergunakan untuk proses pembangunan infrastruktur yaitu agregat, sehingga penggunaan berlebih akan menyebabkan sumber daya alam akan berkurang. Selain itu, perkerasan lama yang dibongkar untuk dibangun infrastruktur perkerasan baru, bila material bongkaran tidak dipergunakan kembali akan menimbulkan limbah padat berupa limbah agregat. Menurut Sharaf (2021), aturan utama dalam pemeliharaan perkerasan jalan yaitu pemilihan metode dan bahan yang akan digunakan berdasarkan kondisi material.

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang terdapat di Negara Indonesia antara lain memanfaatkan batu bara sebagai bahan bakar. Lizar

(2017) menyebutkan persediaan batu bara di Indonesia sangat berlimpah. Penggunaan batu bara sebagai bahan bakar bisa menjadikan biaya operasional yang dikeluarkan menjadi lebih efisien, namun dampaknya bisa menimbulkan masalah baru dikarenakan sisa hasil pembakaran menyebabkan terciptanya limbah padat berupa *bottom ash* dan juga *fly ash*. *Bottom ash* disebutkan merupakan limbah B3 berlandaskan pada Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 Mengenai Pengelolaan Limbah B3. Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 mencabut pernyataan limbah batubara yang asalnya dari kategori limbah bahan yang beracun serta berbahaya atau termasuk kategori limbah B3 menjadi non B3. Menurut Hayni (2020) pada umumnya *bottom ash* memiliki ukuran partikel kecil seperti pasir dan memiliki sifat pozzolan. Neteckis (2019) menyatakan penggunaan *bottom ash* telah diteliti di Negara Uni Eropa, seperti Jerman, Denmark, Prancis dan Swedia. Di Negara-negara ini *bottom ash* digunakan dalam industri konstruksi jalan. Handayani (2016) melakukan penelitian pencampuran material *recycling asphalt* dengan material abu terbang (*fly ash*) hasil dari proses pembakaran batubara. Material *Reclaimed asphalt pavement* (RAP) dan *fly ash* dianalisis gradasi agregatnya untuk mendapatkan variasi penambahan volume *fly ash* dengan variasi 4%, 5%, 6% pada lapisan *Asphalt course Binder Course* (AC-BC). Penelitian ini bertujuan memahami bagaimana menentukan KAO dari kombinasi bahan daur ulang serta *bottom ash*. Kemudian dilakukan evaluasi durabilitas aspal berdasarkan stabilitas campuran aspal kombinasi bahan daur ulang dan *bottom ash*.

2. METODE

Metode penelitian menggunakan studi eksperimental yang dilaksanakan dalam laboratorium dengan menggunakan material *recycling asphalt*. Penelitian ini memeriksa apakah bahan aspal daur ulang dapat digunakan kembali dalam campuran dengan penambahan material *bottom ash*.

Penelitian dimulai dari studi literatur, pengambilan sampel/bahan, pengujian laboratorium dan analisis. Pengujian agregat tahap eksperimen meliputi pengujian sifat fisik agregat halus, agregat kasar dan abu dasar serta hasil percobaan penambangan bongkaran aspal. Bahan material pengujian yang dipergunakan yaitu: *asphalt* pen 60/70, agregat 1-1 dan 1-2, agregat ekstraksi *recycling asphalt*, *bottom ash*, cairan TCE (*Trichloroethylene*). Peralatan yang digunakan dalam penelitian berupa alat pengujian agregat, alat uji aspal pen 60/70, alat pemisah aspal dengan agregat, alat uji karakteristik fisik dan mekanis campuran *marshall test*. Pada tahap awal pengujian seluruh material baik agregat 1-1 dan 1-2 diuji perpropertisnya agar dapat

mengidentifikasi berat isi, penyerapan air, berat jenis apparent, berat jenis (SSD), serta berat jenis (*Bulk*). Selanjutnya adalah proses pemisahan antara agregat dan cairan aspal yang terdapat pada material *recycling* menggunakan tabung refluks dan cairan TCE (*Trichloroethylene*). Menurut penelitian M. Iqbal (2019) mengatakan untuk jenis pelarut ekstraksi yang baik yaitu menggunakan pertamax turbo. Namun sesuai dengan spesifikasi umum yang dikeluarkan oleh kementerian pekerjaan umum, Direktorat Jenderal Bina Marga. Berdasarkan Spesifikasi umum (2018) dimana pada SNI 03-6894-2002 disebutkan jenis pelarut yang digunakan adalah Methylene chlorida atau Trichlorethylene atau larutan Amonium Carbonat (NH₄)₂ CO₃ murni. Sesuai Departemen Pekerjaan Umum (2004) Cara uji ekstraksi kadar aspal dari campuran beraspal menggunakan Tabung Reflux Gelas. Menurut Hadijah (2011), penelitiannya bertujuan untuk mengetahui metode-metode, bahan-bahan pelarut yang sesuai didalam pengujian ekstraksi kadar aspal untuk dilakukan dilapangan (proyek), Dan dalam pelaksanaan pengujiannya digunakan dua alat yaitu alat Soklet dan alat Centrifuge dengan menggunakan tiga bahan pelarut yaitu Trichlor Ethylene, Bensin dan Minyak Tanah. Menurut Chandra (2014) hasil pengujian ekstraksi aspal dengan metode refluks paling mendekati dengan nilai aspal rencana dan standar deviasi antar hasil pengujian paling kecil. Namun pengujian ekstraksi aspal metode refluks membutuhkan waktu pengujian sangat lama tetapi menunjukkan bahwa hasil pengujian dengan metode refluks memiliki hasil pengujian yang lebih baik. Kemudian dilakukan analisis saringan untuk mendapatkan gradasi agregat hasil penambangan bongkaran aspal. Pada tahap selanjutnya dilakukan pengujian fisik dan mekanik terhadap campuran aspal daur ulang dengan menggunakan mesin uji marshall untuk mendapatkan kuat tekan maksimum dengan variasi campuran 10% sampai 15% *bottom ash*. Filter No. 200 dipilih karena *bottom ash* digunakan sebagai bahan yang menggantikan agregat halus seperti yang ditunjukkan oleh tabel hasil penelitian Laboratorium Bahan Jalan Petra Inggris. Banyaknya persentase yang lolos saringan *bottom ash* senilai 18,2%. Dengan demikian penelitian ini menetapkan sampel antara 10% dan 15%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian meliputi pemeriksaan aspal, agregat halus dan kasar, filler, aspal tingkat penetrasi 60/70, bahan yang diambil dari aspal daur ulang, bahan abu dasar. Untuk pengujian pertama kali dilakukan adalah pengujian batu pecah 1-2. Pengujian ini untuk mengetahui sifat karakteristik dari batu pecah 1-2. Hasil uji ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil uji karakteristik batu pecah 1-2

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Hasil	Syarat
1.	Berat jenis (<i>bulk</i>)	SNI 1969:2016	2,579	Min. 2,5
2.	Berat jenis (SSD)	SNI 1969:2016	2,515	Min. 2,5
3.	Berat jenis <i>apparent</i>	SNI 1969:2016	2,541	Min. 2,5
4.	Penyerapan air	SNI 1969:2016	0.69%	Maks. 2%
5.	Berat isi	SNI 03-4804-1998	1,346	-

Hasil uji batu 1-2 memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi 2018 untuk jalan umum, sehingga agregat batu pecah 1-2 dapat dipergunakan sebagai bahan campuran aspal. Selanjutnya dilakukan pengujian batu pecah 1-1 untuk mengetahui sifat karakteristiknya. Hasil uji ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik batu pecah 1-1

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Hasil	Syarat
1.	Berat jenis (<i>bulk</i>)	SNI 1969:2016	2,591	Min. 2,5
2.	Berat jenis (SSD)	SNI 1969:2016	2,629	Min. 2,5
3.	Berat jenis <i>apparent</i>	SNI 1969:2016	2,694	Min. 2,5
4.	Penyerapan air	SNI 1969:2016	1,1%	Maks. 2%
5.	Berat isi	SNI 03-4804-1998	1,337	-

Untuk uji batu pecah 1-1 telah memenuhi syarat yang ditentukan, sehingga agregat batu pecah 1-1 dapat dipergunakan untuk campuran aspal. Pengujian selanjutnya yaitu pengujian karakteristik abu batu untuk mengetahui sifat karakteristiknya. Hasil uji ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian karakteristik abu batu

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Hasil	Syarat
1.	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 1970:2016	2,54 8	Min. 2,5
2.	Berat jenis SSD	SNI 1970:2016	2,58 3	Min. 2,5
3.	Berat jenis <i>apparent</i>	SNI 1970:2016	2,63 9	Min. 2,5
4.	Penyerapan air	SNI 1970:2016	1,36 %	Maks. 2%
5.	Berat isi	SNI 03-4804-1998	0,37 1	-
6.	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	88,1 %	Min. 50%

Hasil dari pengujian abu batu telah memenuhi syarat yang ditentukan sehingga agregat abu batu dapat dipergunakan sebagai bahan campuran aspal. Selanjutnya dilakukan pula pengujian karakteristik pasir. Hasil uji ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian karakteristik pasir

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Hasil	Syarat
1.	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 1970:2016	2,537	Min. 2,5
2.	Berat jenis SSD	SNI 1970:2016	2,556	Min. 2,5
3.	Berat jenis <i>apparent</i>	SNI 1970:2016	2,586	Min. 2,5
4.	Penyerapan air	SNI 1970:2016	0,75%	Maks. 2%
5.	Berat isi	SNI 03-4804-1998	0,387	-
6.	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	64,3%	Min. 50%

Hasil pengujian pasir telah memenuhi syarat yang ditentukan sehingga agregat pasir dapat dipergunakan sebagai bahan campuran aspal. Untuk pengujian selanjutnya yaitu pengujian semen yang berfungsi sebagai *filler*, hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.5.

Tabel 5. Hasil pengujian karakteristik semen

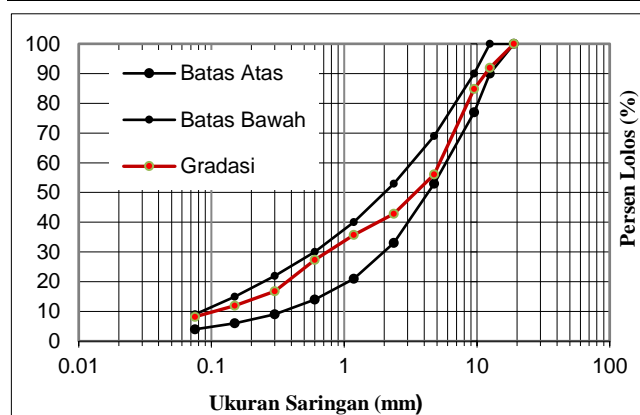
No	Karakteristik	Standar Pengujian	Hasil	Syarat
1.	Lolos Saringan No. 200	SNI M-02-1994-03	100%	Min. 70%
2.	Berat Jenis <i>Filler</i>	SNI 15-2531-1991	3,15	-

Hasil pengujian semen memenuhi persyaratan yang ditentukan dengan hasil pengujian persentase lolos saringan No.200 senilai 100%. Dengan demikian material semen dapat dipergunakan sebagai bahan campuran aspal. Pengujian selanjutnya adalah pengujian abu dasar (*bottom ash*). Hasil uji ditunjukkan oleh Tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji karakteristik abu bawah (*bottom ash*)

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Hasil	Syarat
1.	Lolos Saringan No. 200	SNI M-02-1994-03	76%	Min. 70%
2.	Berat Jenis	SNI 15-2531-1991	2,54	-

Hasil dari pengujian abu bawah (*bottom ash*) telah memenuhi syarat yang ditentukan dimana persentase lolos saringan No. 200 senilai 76%. Komposisi campuran aspal pada lintasan AC-WC pada penelitian ini ditentukan dengan metode grafik dengan gradasi dan sifat yang sesuai dengan Spesifikasi Jalan Raya Umum Tahun 2018.



Gambar 1. Gradasi agregat campuran lapisan AC-WC

Gradasi agregat pada grafik di atas sudah sesuai dengan spesifikasi gradasi SNI 03-6822-2002. Pengujian selanjutnya adalah menguji aspal pen 60/70. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh nilai spesifik dari pengujian aspal antara lain: berat jenis, penetrasi, daktilitas, titik nyala dan pelunakan. Kisaran nilai yang diperlukan untuk setiap uji propertis aspal konsisten dengan Aturan Umum Spesifikasi Jalan Raya Divisi 6 Tahun 2018.

Tabel 7. Hasil pengujian karakteristik aspal pen 60/70

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Hasil	Syarat
1.	Penetrasi 25°C, 100gr, 5 detik, 0,1 mm	SNI 06-2456-2011	61,4	60 - 70
2.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	>140	≥ 100
3.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434 : 2011	49,5	≥ 48
4.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433 : 2011	311	≥ 232
5.	Titik Bakar (°C)	SNI 2433 : 2011	320	-
6.	Berat Jenis	SNI 2441 : 2011	1,034	≥ 1,0

Hasil pengujian sifat aspal pen 60/70 sudah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Oleh karena itu aspal cair dapat digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran lapisan AC-WC. Untuk pengujian aspal ekstraksi *recycling asphalt* ditunjukkan oleh Tabel 8.

Tabel 8. Hasil uji karakteristik aspal ekstraksi *recycling*

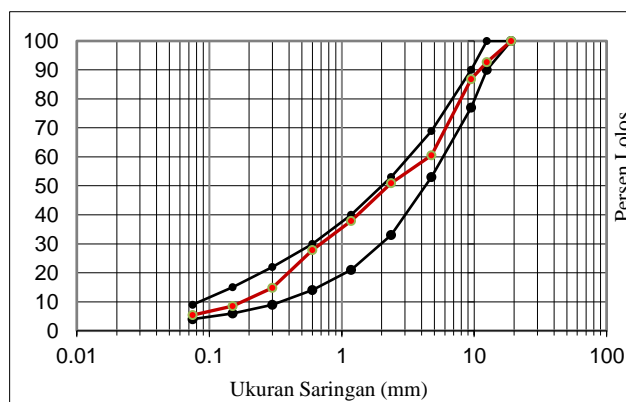
No	Karakteristik	Standar Pengujian	Hasil	Syarat
1.	Penetrasi 25°C, 100gr, 5 detik, 0,1 mm	SNI 06-2456-2011	10	60 - 70
2.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	24	≥ 100

Dari hasil pengujian karakteristik aspal diperoleh hasil yang tidak memuaskan dikarenakan tidak mencukupi persyaratan Spesifikasi Jalan Raya Bina Marga 2018 pada Revisi 1. Dengan demikian cairan aspal tersebut tidak bisa dipergunakan dalam penelitian ini

Tabel 9. Hasil analisis saringan agregat *recycling asphalt*

No. In	Saringan mm	Berat tertahan an	Jml. Berat tertahan	% tertahan	% lolos
1	1/2"	37.5	0	0	0
1	1"	25	0	0	0
3/4"	19	0	0	100	100
1/2"	12.5	139.3	139.3	7.3	92.7
3/8"	9.5	112.6	251.9	13.2	86.8
# 4	4.75	501.8	753.7	39.5	60.5
# 8	2.36	183.2	936.9	49.1	50.9
# 16	1.18	248.1	1185	62.1	37.9
# 30	0.600	192.7	1377.7	72.2	27.8
# 50	0.300	248.1	1625.8	85.2	14.8
# 100	0.150	120.2	1746	91.5	8.50
# 200	0.075	59.2	1805.2	94.6	5.39

Setelah bahan aspal daur ulang diekstraksi, kemudian dilakukan pengujian dalam Analisis Saringan (SNI 03-6822-2002). Hasil uji saringan diselaraskan dengan syarat gradasi pada spesifikasinya. Apabila ada agregat yang tidak selaras dengan persyaratan, maka harus dirubah dengan cara mencampurkan agregat kembali dan analisis gradasi, yaitu:



Gambar 2. Gradasi Agregat Ekstraksi *recycling asphalt*

Dari hasil analisis saringan, gradasi material ekstraksi *recycling asphalt* diketahui dapat dipergunakan pada campuran beraspal. Hasil analisis ayakan menjadi nilai acuan campuran bahan pengolah aspal yang diperoleh pada penelitian ini. Menurut Fitridawati (2015) membuktikan bahwa aspal masih meresap kedalam pori, dan tidak semuanya terekstraksi secara sempurna. Selanjutnya agregat aspal daur ulang dicampur dengan asphalt konvensional pen 60/70 dengan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%,7%.

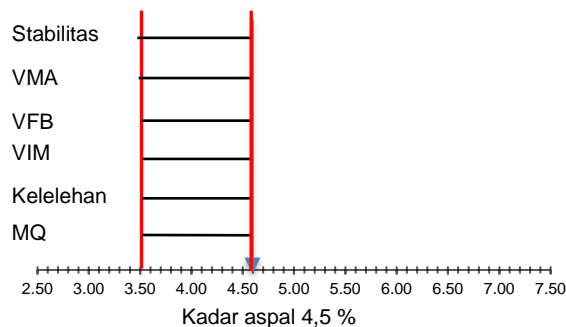
Tabel 10. Hasil uji *marshall test* material *recycling asphalt*

No. In	Saringan mm	Berat tertahan	Jml. Berat tertahan	Persen tertahan	Persen lolos
1 1/2"	37.5	0	0	0	0
1"	25	0	0	0	0
3/4"	19	0	0	100	100
1/2"	12.5	139.3	139.3	7.3	92.7
3/8"	9.5	112.6	251.9	13.2	86.8
# 4	4.75	501.8	753.7	39.5	60.5
# 8	2.36	183.2	936.9	49.1	50.9
# 16	1.18	248.1	1185	62.1	37.9
# 30	0.600	192.7	1377.7	72.2	27.8
# 50	0.300	248.1	1625.8	85.2	14.8
# 100	0.150	120.2	1746	91.5	8.50
# 200	0.075	59.2	1805.2	94.6	5.39

Tabel 11. Pemeriksaan hasil saringan ekstraksi *recycling asphalt* dengan campuran BA 10%

No. In	Saringan mm	Berat tertahan	Jml. Berat tertahan	Persen tertahan	Persen lolos
1 1/2"	37.5	0	0	0	0
1"	25	0	0	0	0
3/4"	19	0	0	100	100
1/2"	12.5	139.3	139.3	7.3	92.7
3/8"	9.5	112.6	251.9	13.2	86.8
# 4	4.75	501.8	753.7	39.5	60.5
# 8	2.36	183.2	936.9	49.1	50.9
# 16	1.18	248.1	1185	62.1	37.9
# 30	0.600	192.7	1377.7	72.2	27.8
# 50	0.300	248.1	1625.8	85.2	14.8
# 100	0.150	120.2	1746	91.5	8.50
# 200	0.075	53.28	1799.28	94.3	5.70

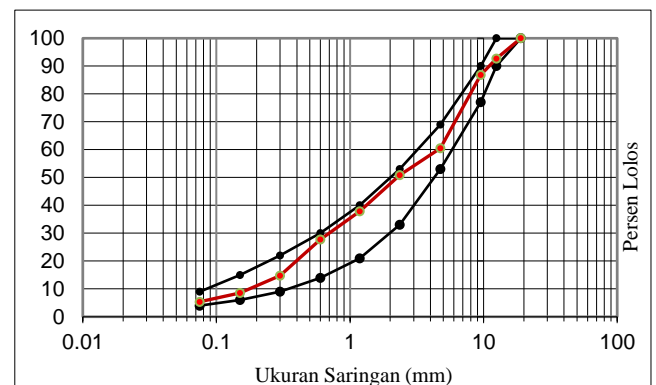
Berdasarkan grafik di atas yang menunjukkan nilai parameter masing-masing pengujian, diambil nilai tengahnya untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Kadar Aspal Optimum *Recycling Asphalt*

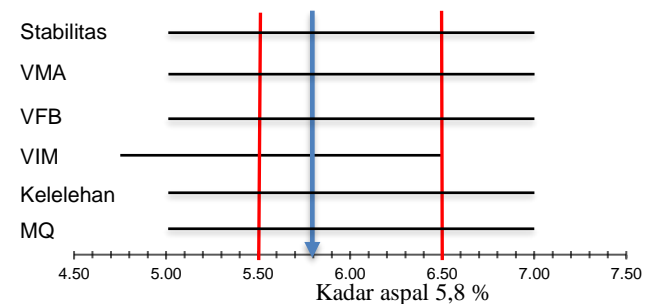
Gambar 3 di atas menyimpulkan bahwa kisaran kandungan aspal yang sudah memenuhi syarat parameter *marshall* yaitu 3,5%~4,5%, nilai kadar aspal optimum senilai 4,5%. Selanjutnya pengujian hasil material ekstraksi *recycling asphalt* dicampur dengan material *bottom ash* dengan variasi 10% dan 15%. Variasi 10% dan 15% ini diperoleh dari ketentuan hasil uji fisik dan mekanik *bottom ash* dari Road Materials Research Laboratory di Petra Inggris dengan parameter *bottom ash* lolos saringan senilai 18,2%. Berdasarkan hasil uji tersebut, peneliti mengambil batasan variasi campuran *bottom ash* 10% dan 15%. Analisis ayakan dilakukan untuk mengetahui apakah gradasi ayakan sesuai dengan ukuran saringan berdasarkan Spesifikasi umum Bina Marga 2018. Tabel 11 merupakan analisis saringan material ekstraksi *recycling asphalt* dengan *bottom ash* 10%.

Selanjutnya setelah gradasi campuran dengan *bottom ash* 10% diperoleh, kemudian kontrol dilakukan dengan menggunakan grafik di bawah ini:



Gambar 4. Gradasi Agregat Ekstraksi *recycling asphalt* dengan *bottom ash* 10%

Selanjutnya dari Tabel 12 diperoleh nilai kadar aspal yang optimum (KAO) seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 5. Grafik Kadar Aspal Optimum *Recycling Asphalt* dengan *bottom ash* 10%.

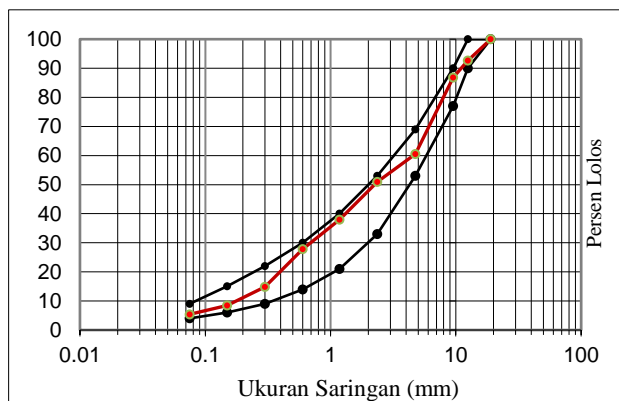
Selanjutnya dari Gambar 5 disimpulkan bahwa nilai rentang kadar aspal yang sesuai dengan seluruh persyaratan *marshall* yaitu nilai kadar aspal yang berkisar antara 5,5% sampai dengan 6,5%. Kemudian nilai kadar aspal optimumnya ditentukan senilai 5,8%. Gambar 5 menunjukkan kondisi KAO yang kecil disebabkan oleh nilai VIM yang kecil, sehingga

benda uji sangat padat atau tidak terdapat lubang/rongga. Pengujian selanjutnya dilakukan terhadap campuran aspal yang diperoleh kembali dan hasil abu bawah yang diekstraksi 15%.

Tabel 13. Pemeriksaan hasil *recycling asphalt* dengan campuran BA 15%

No. In	Saringan mm	Berat tertahan	Jml. Berat tertahan	Persen tertahan	Persen lolos
1 1/2"	37.5	0	0	0	0
1"	25	0	0	0	0
3/4"	19	0	0	100	100
1/2"	12.5	139.3	139.3	7.3	92.7
3/8"	9.5	112.6	251.9	13.2	86.8
# 4	4.75	501.8	753.7	39.5	60.5
# 8	2.36	183.2	936.9	49.1	50.9
# 16	1.18	248.1	1185	62.1	37.9
# 30	0.600	192.7	1377.7	72.2	27.8
# 50	0.300	248.1	1625.8	85.2	14.8
# 100	0.150	120.2	1746	91.5	8.50
# 200	0.075	50,32	1796.32	94.1	5.86

Setelah gradasi campuran dengan *bottom ash* 15% diperoleh, dilakukan kontrol melalui diagram titik kontrol.



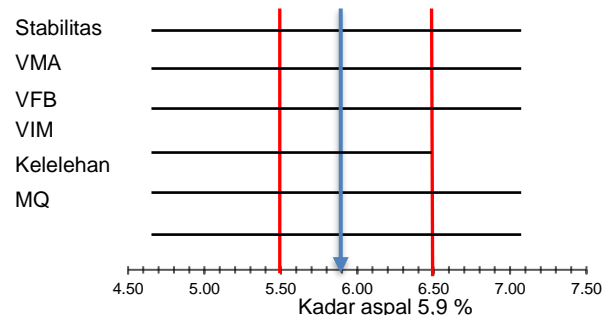
Gambar 6. Gradasi agregat ekstraksi *recycling asphalt* dengan *bottom ash* 15%

Berdasarkan Gambar 6 diketahui hasil analisis saringan gradasi material ekstraksi *recycling asphalt* yang sudah dicampur dengan *bottom ash* senilai 15% pada saringan no.200. Langkah berikutnya melakukan pencampuran agregat hasil ekstraksi *recycling asphalt* dan *bottom ash* senilai 15% dengan cairan aspal pen 60/70 dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%.

Tabel 14. Hasil pengujian *marshall* material ekstraksi *recycling asphalt* dengan *bottom ash* 15%

No	Kadar Aspal	VFA	VMA	VIM	Stabilitas	Kelelahan	MQ
1	5.0	86,61	16,08	2,15	1501,0	3,28	457,6
2	5.0	78,16	17,51	3,82	1434,7	3,40	422,0
3	5.0	88,27	15,83	1,86	1826,3	3,50	521,8
	Rata-rata	84,35	16,47	2,61	1587,4	3,39	467,1
4	5.5	83,25	17,79	2,98	1488,1	3,35	444,2
5	5.5	80,54	18,28	3,56	1551,7	3,40	456,4
6	5.5	81,65	18,08	3,32	1605,2	3,30	486,4
	Rata-rata	81,81	18,05	3,29	1548,4	3,35	462,3
7	6.0	84,02	18,80	3,01	1635,7	3,45	474,1
8	6.0	83,90	18,83	3,03	1297,4	3,00	432,5
9	6.0	81,65	19,24	3,53	1589,9	3,30	481,8
	Rata-rata	83,19	18,96	3,19	1507,6	3,25	462,8
10	6.5	89,07	19,01	2,08	1490,7	3,40	438,4
11	6.5	84,04	19,92	3,18	1424,6	3,30	431,7
12	6.5	82,59	20,20	3,52	1452,9	3,55	409,3
	Rata-rata	85,23	19,71	2,93	1456,1	3,42	426,5
13	7.0	92,06	19,55	1,55	1409,3	4,30	327,7
14	7.0	92,24	19,52	1,51	1495,8	3,28	456,0
15	7.0	91,69	19,62	1,63	1450,0	3,34	434,1
	Rata-rata	92,00	19,57	1,57	1451,7	3,64	406,0

Berdasarkan Tabel 14 didapat nilai kadar aspal optimum (KAO) yang ditunjukkan pada Gambar 7



Gambar 7. Grafik kadar aspal optimum *recycling asphalt* dengan *bottom ash* 15%

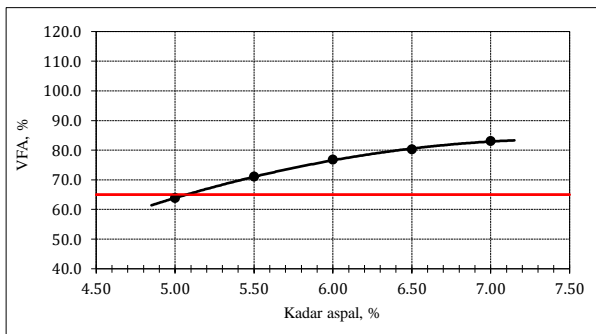
Hasil pengujian saringan ini diselaraskan pada syarat gradasi yang terdapat pada spesifikasi. Berdasarkan grafik di atas dapat ditarik kesimpulan nilai rentang kadar aspal telah memenuhi semua syarat parameter *Marshall* dengan kadar aspal antara 5,5% - 6,5%, yaitu 5,9%.

Hasil *Marshall* dan *Index of Kuat Tekan*

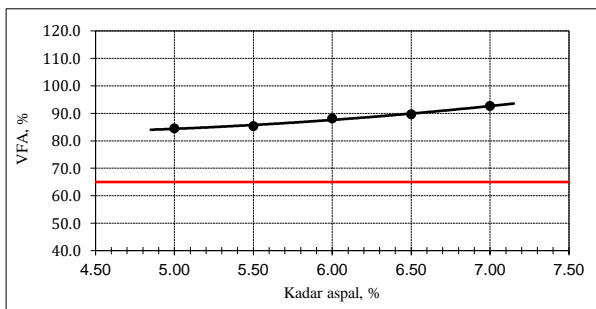
a) Rongga Terisi Aspal atau *Void With Filled Asphalt* (VFA)

Berdasarkan grafik VFA, dimana nilai VFA (*asphalt void*) yang ditentukan untuk setiap kadar aspal yang direncanakan memenuhi persyaratan minimum untuk nilai VFA Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dalam campuran AC-WC yaitu senilai

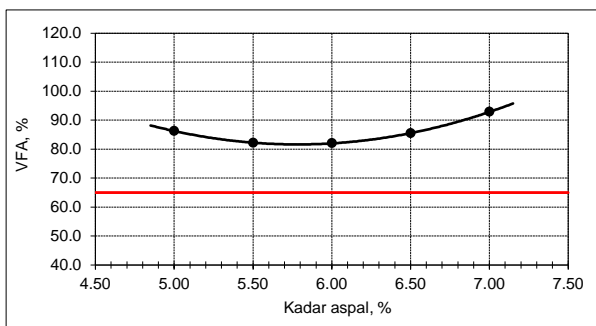
65%. Dengan bertambahnya kadar aspal, nilai VFA terus meningkat untuk setiap kenaikan kadar aspal, dimulai dari 5% dan menurun pada kadar aspal 7%.



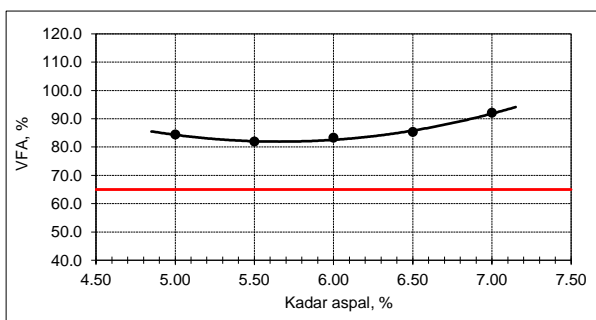
Gambar 8. Grafik Parameter VFA Aspal Konvensional



Gambar 9. Grafik Parameter VFA Ekstraksi *Recycling Asphalt*



Gambar 10. Grafik Parameter VFA Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 10%



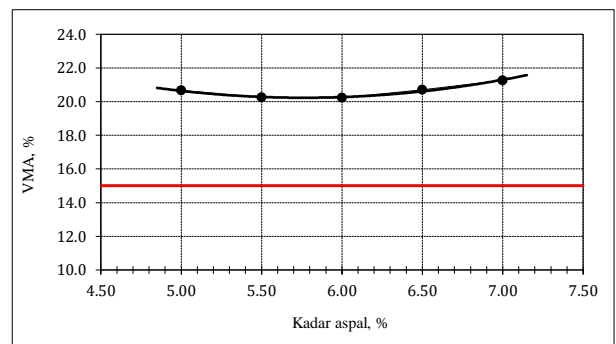
Gambar 11. Grafik Parameter VFA Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 15%

Pada gambar grafik di atas diketahui bahwa persentase perubahan nilai VFA pada grafik pertama yang merupakan material ekstraksi *recycling asphalt* dengan parameter VFA paling rendah yaitu pada kadar aspal 5% senilai 63,83 dan parameter VFA paling tinggi pada kadar aspal 7% yaitu 83,03. Untuk grafik kedua material *recycling asphalt* nilai yang paling rendah ada pada kadar aspal 5% dengan nilai

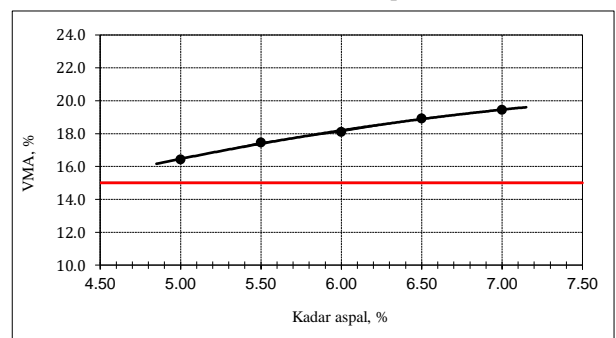
84,51 dan nilai yang paling tinggi ada pada kadar 7% yaitu 92,69. Pada grafik ketiga material *Recycling asphalt* dengan tambahan campuran *bottom ash* 10% menghasilkan nilai VFA paling rendah pada kadar 6% senilai 82,05 dan paling tinggi ada pada kadar 7% senilai 92,86. Pada grafik VFA keempat yang merupakan pengujian *marshall* dengan material *recycling asphalt* dan campuran *bottom ash* 15%, nilai parameter VFA yang terendah pada kadar 5,5% senilai 81,81 sedangkan tertinggi pada kadar 7% senilai 92,00.

b). Rongga Dalam Agregat atau *Void In Mineral Aggregate* (VMA)

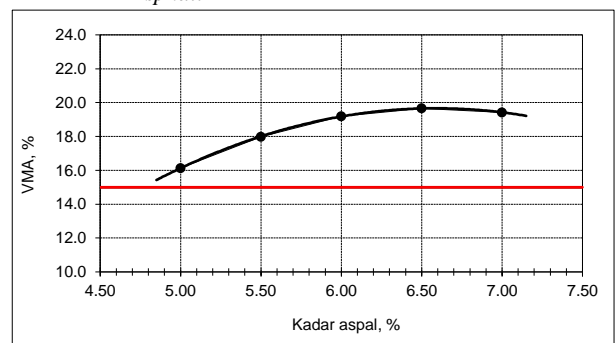
Berdasarkan grafik VMA, dapat diketahui nilai *void in Mineral Aggregate* (VMA) pada setiap kadar aspal rencana telah memenuhi syarat nilai minimum VMA berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk AC-WC yaitu senilai 15%. Peningkatan persentase kadar aspal menyebabkan nilai VMA terus naik dengan bertambahnya kadar mulai dari 5% tetapi menurun di kadar aspal 7%.



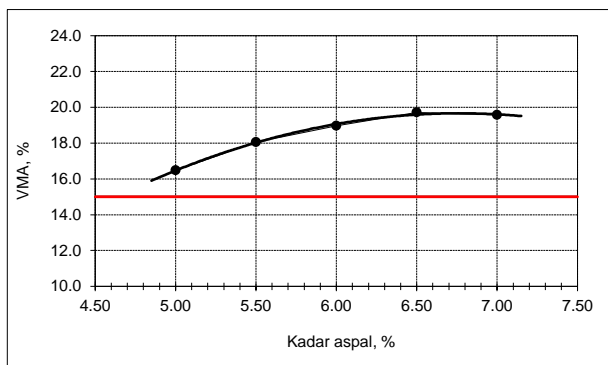
Gambar 12. Grafik Parameter VMA Aspal Konvensional



Gambar 13. Grafik Parameter VMA Ekstraksi *Recycling Asphalt*



Gambar 14. Grafik Parameter VMA Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 10%

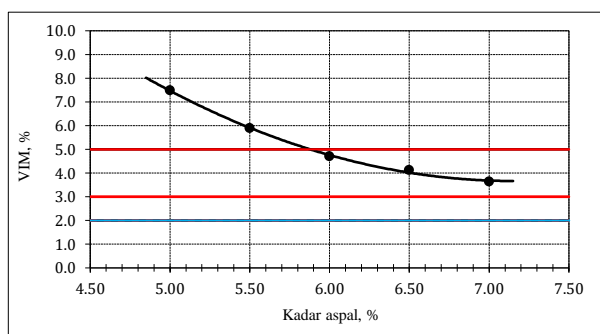


Gambar 15. Grafik Parameter VMA Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 15%

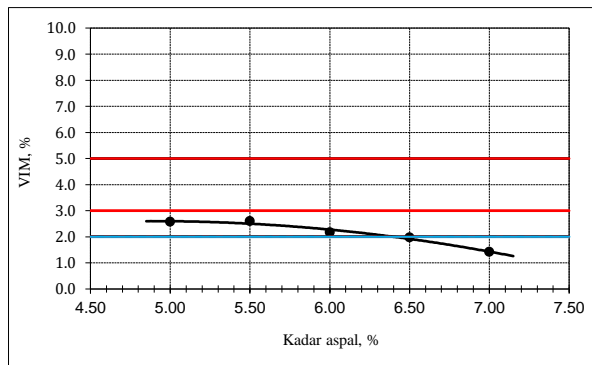
Pada gambar grafik di atas dapat diketahui persentase perubahan nilai VMA dimana grafik pertama merupakan material ekstraksi *recycling asphalt* dengan parameter VMA paling rendah yaitu pada kadar aspal 6% senilai 20,22 dan parameter VMA paling tinggi pada kadar aspal 7% senilai 21,26. Untuk grafik kedua material *recycling asphalt* nilai yang paling rendah ada pada kadar aspal 5% senilai 16,44 dan nilai yang paling tinggi ada pada kadar 7% senilai 19,45. Pada grafik ketiga dengan material *Recycling asphalt* dengan campuran *bottom ash 10%* menghasilkan nilai VMA paling rendah pada kadar 5% senilai 16,14 dan paling tinggi ada pada kadar 6,5% senilai 19,66. Pada grafik VMA keempat yang merupakan pengujian *marshall* dengan material *recycling asphalt* dan campuran *bottom ash 15%*, nilai parameter VMA yang paling rendah ada pada kadar 5% senilai 16,47 sedangkan nilai paling tinggi pada kadar 6,5% senilai 19,71.

c). Rongga Dalam Campuran atau *Void In Mixture (VIM)*

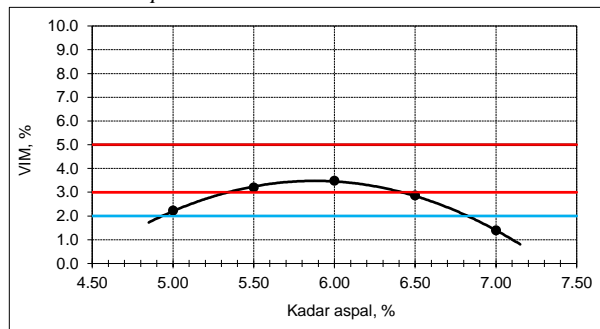
Berdasarkan grafik VIM, dimana menunjukkan nilai *Void In Mixture (VIM)* yang dicapai pada masing-masing bidang pencampur aspal telah memenuhi syarat minimal nilai VIM sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Kedalaman lapisan AC-WC yaitu senilai 3-5%. Dalam penelitian ini, grafik kedua nilai VIM tidak memenuhi spesifikasi.



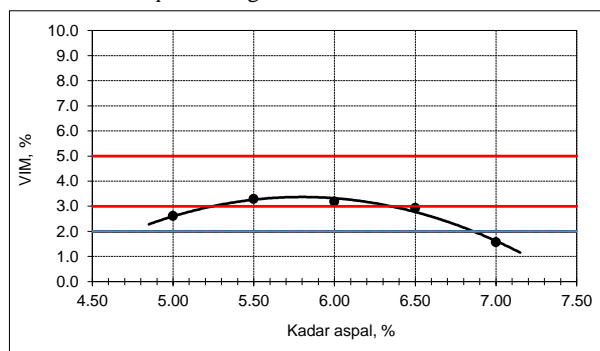
Gambar 16. Grafik Parameter VIM Aspal Konvensional



Gambar 17. Grafik Parameter VIM Ekstraksi *Recycling Asphalt*



Gambar 18. Grafik Parameter VIM Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 10%

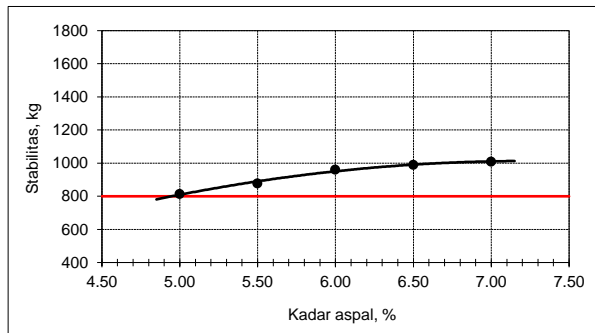


Gambar 19. Grafik Parameter VIM Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 15%

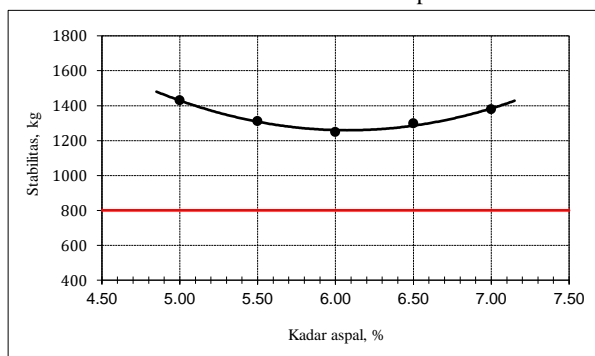
Pada gambar grafik di atas dapat diketahui bahwa persentase perubahan nilai VIM pada grafik pertama yang merupakan material ekstraksi *recycling asphalt* dengan parameter VIM paling rendah yaitu pada kadar aspal 7% senilai 3,64 dan parameter VIM paling tinggi pada kadar aspal 5% senilai 7,49. Untuk grafik kedua material *recycling asphalt*, nilai VIM yang paling rendah ada pada kadar aspal 5,5% senilai 2,59 dan nilai VIM yang paling tinggi ada pada kadar 5,5% senilai 2,59. Pada grafik ketiga dengan material *recycling asphalt* dengan campuran *bottom ash 10%*, dengan nilai VIM paling rendah pada kadar 7% senilai 1,39 dan paling tinggi ada pada kadar 6% senilai 3,47. Pada grafik VIM keempat yang merupakan pengujian *marshall* dengan material *recycling asphalt* dan campuran *bottom ash 15%* dengan nilai parameter VIM yang paling rendah ada pada kadar 7% senilai 1,57 sedangkan nilai paling tinggi pada kadar 5,5% senilai 3,29.

d). Stabilitas atau *Stability*

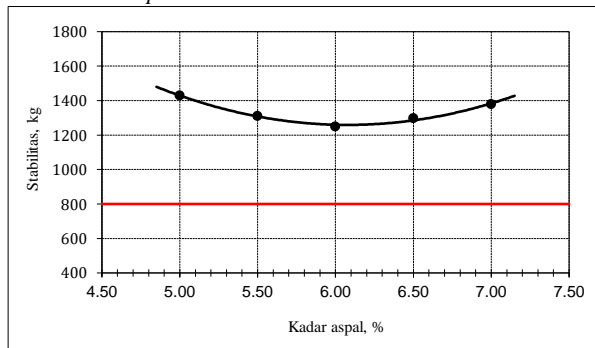
Berdasarkan grafik stabilitas, nilai stabilitas yang diperoleh pada setiap kadar aspal diketahui telah memenuhi persyaratan minimum nilai stabilitas yang sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dalam lapis AC-WC yaitu minimal 800 kg.



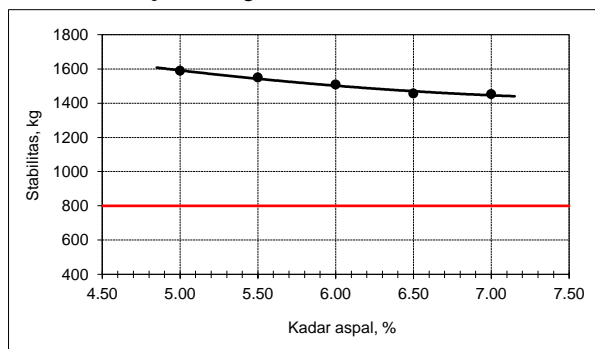
Gambar 20. Grafik Parameter Stabilitas Aspal Konvensional



Gambar 21. Grafik Parameter Stabilitas Ekstraksi *Recycling Asphalt*



Gambar 22. Grafik Parameter Stabilitas Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 10%

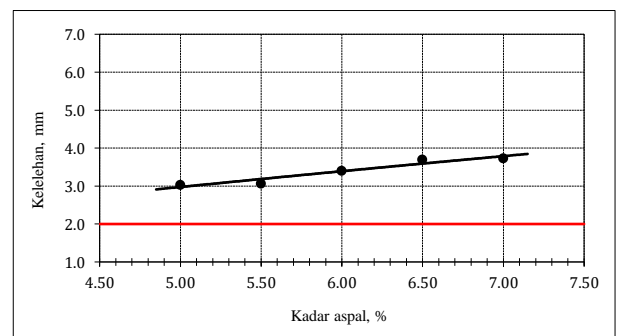


Gambar 23. Grafik Parameter Stabilitas Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 15%

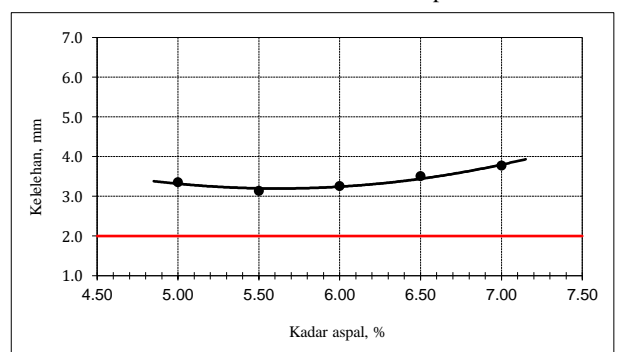
asphalt dengan parameter stabilitas paling rendah yaitu pada kadar aspal 5% senilai 813,7 kg dan parameter stabilitas paling tinggi pada kadar aspal 7% senilai 1009,7 kg. Untuk grafik kedua material *recycling asphalt* nilai stabilitas yang paling rendah ada pada kadar aspal 6% senilai 1249,0 kg dan nilai stabilitas yang paling tinggi ada pada kadar 5% senilai 1429,9 kg. Pada grafik ketiga dengan material *recycling asphalt* dengan campuran *bottom ash* 10% menghasilkan nilai stabilitas paling rendah pada kadar 6% senilai 1238,0 kg dan paling tinggi ada pada kadar 6% senilai 1563,2 kg. Pada grafik stabilitas keempat yang merupakan pengujian *marshall* dengan material *recycling asphalt* dan campuran *bottom ash* 15%, nilai parameter stabilitas yang paling rendah ada pada kadar 7% senilai 1451,7 kg sedangkan nilai stabilitas paling tinggi pada kadar 5% senilai 1587,4 kg. Hal ini menunjukkan bahwa jika nilai void atau porositas pada campuran rendah maka kekuatan atau stabilitas akan meningkat karena rongga antar campuran terisi oleh material yang dapat meningkatkan kekuatan campuran benda uji.

e). Kelelahan atau *Flow*

Grafik kelelahan (*flow*) menunjukkan bahwa seluruh benda pengujianya sudah sesuai dengan persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 dengan nilai kelelahan yang diisyaratkan yaitu 2-4 mm. Dengan demikian dapat dilihat pada grafik kedua, nilai paling tinggi ada pada kadar 7% senilai 3,77 mm.

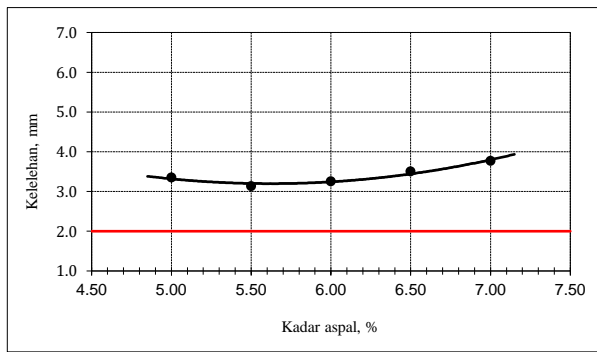


Gambar 24. Grafik Parameter Kelelahan Aspal Konvensional

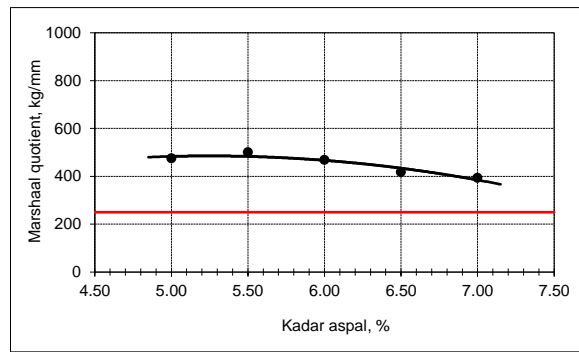


Gambar 25. Grafik Parameter Kelelahan Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 10%

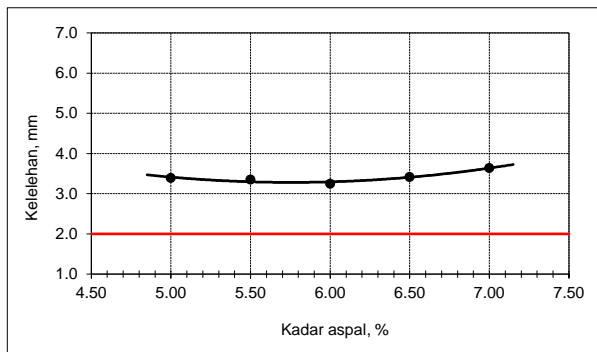
Pada gambar grafik di atas dapat diketahui bahwa persentase perubahan nilai Stabilitas pada grafik pertama yang merupakan material ekstraksi *recycling*



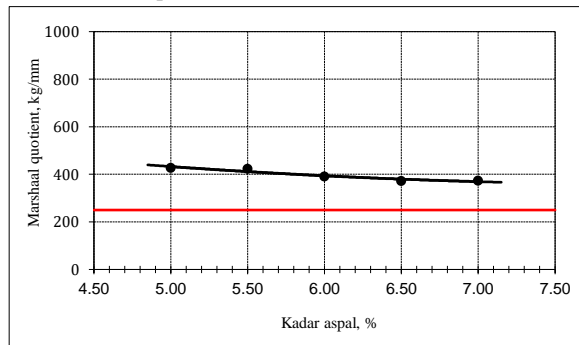
Gambar 26. Grafik Parameter Kelelahan Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 15%



Gambar 28. Grafik Parameter *Marshall Question* Aspal Konvensional

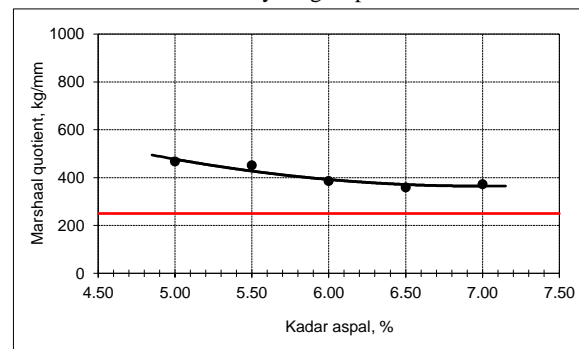


Gambar 27. Grafik Parameter Kelelahan Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 15%

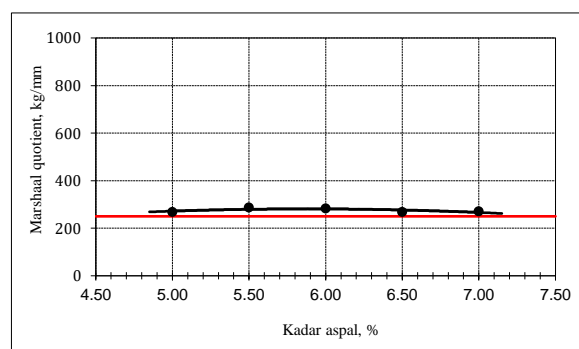


Gambar 29. Grafik Parameter *Marshall Question* Ekstraksi *Recycling Asphalt*

Pada gambar grafik di atas diketahui persentase perubahan nilai kelelahan dimana grafik pertama merupakan material ekstraksi *recycling asphalt* dengan parameter kelelahan paling rendah yaitu pada kadar aspal 5% senilai 3,03 mm dan parameter kelelahan paling tinggi pada kadar aspal 7% senilai 3,73 mm. Untuk grafik kedua material *recycling asphalt*, nilai kelelahan yang paling rendah ada pada kadar aspal 5,5% senilai 3,13 mm dan nilai kelelahan yang paling tinggi ada pada kadar 7% senilai 3,77 mm. Grafik ketiga dengan material *Recycling asphalt* dan campuran *bottom ash* 10%, nilai Kelelahan paling rendah pada kadar 6% senilai 3,13 mm dan paling tinggi ada pada kadar 7% senilai 3,62 mm. Pada grafik kelelahan keempat yang merupakan pengujian *marshall* dengan material *recycling asphalt* dan campuran *bottom ash* 15% dengan nilai parameter kelelahan yang paling rendah ada pada kadar 6% senilai 3,25 mm ,sedangkan nilai kelelahan paling tinggi pada kadar 7% senilai 3,64 mm.



Gambar 30. Grafik Parameter *Marshall Question* Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 10%



Gambar 31. Grafik Parameter *Marshall Question* Ekstraksi *Recycling Asphalt* dengan BA 15%

f). *Marshall Question* (MQ)

Dari analisis grafik nilai MQ pada Gambar 13 nilai paling tinggi terdapat pada kadar 5,5% senilai 499,6 kg/mm dengan campuran *recycling asphalt* dengan *bottom ash* 15%. Nilai MQ menunjukkan kelenturan atau fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Apabila campuran memiliki nilai MQ yang tinggi, ini artinya bahwa campurannya kaku atau rendah dalam hal fleksibilitasnya.

Pada gambar grafik dapat diketahui bahwa persentase perubahan nilai *marshall question* pada grafik pertama yang merupakan material ekstraksi *recycling asphalt*, parameter *marshall question* paling rendah yaitu pada kadar aspal 6,5% senilai 267,5 kg/mm dan parameter *marshall question* paling tinggi pada kadar aspal 5,5% senilai 286,4 kg/mm. Untuk grafik kedua material *recycling asphalt*, nilai *marshall question*

yang paling rendah ada pada kadar aspal 6,5% senilai 371,8 kg/mm dan nilai *marshall question* yang paling tinggi ada pada kadar 5% senilai 426,9 kg/mm. Grafik ketiga berupa material *recycling asphalt* dengan campuran *bottom ash 10%* menghasilkan nilai *marshall question* paling rendah pada kadar 6,5% senilai 358,5 kg/mm dan paling tinggi ada pada kadar 5% senilai 466,9 kg/mm. Pada grafik *marshall question* keempat yang merupakan pengujian *marshall* dengan material *recycling asphalt* dan campuran *bottom ash 15%*, nilai parameter *marshall question* yang paling rendah ada pada kadar 7% senilai 393,3 sedangkan nilai *marshall question* paling tinggi pada kadar 5,5% senilai 499,6 kg/mm.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengujian aspal menunjukkan pengaruh penambahan *bottom ash* terhadap material ekstraksi *recycling asphalt*, baik cairan aspal maupun material agregat yang terdapat pada *recycling asphalt* tidak dapat dipergunakan kembali. Hal ini disebabkan kondisi aspal tersebut mengalami penuaan, kekuatan material rendah dan tidak bertahan lama, sedangkan agregat yang diekstraksi dari aspal daur ulang dengan campuran abu dasar dan terak terlalu padat.
2. KAO diperoleh dari pengujian yang terdiri dari 4 pengujian, yaitu:
 - 1) Hasil pengujian aspal konvensional dengan komposisi baku mencapai KAO 6,45%.
 - 2) Pengujian Ekstraksi Daur Ulang Aspal menunjukkan kadar aspal optimum antara 3,5% dan 4,5%. Kemudian diambil nilai rata-rata dari rentang kadar aspal untuk mendapatkan nilai KAO (4,5%). Nilai parameter VIM yang besar sebesar 7,95% didapatkan pada saat kondisi benda uji padat karena tidak adanya pori/rongga.
 - 3) Menguji aspal ekstraksi dengan abu dasar 10% untuk mencapai kandungan KAO 5,5% hingga 6,5%. Ambil nilai rata-rata dari rentang kadar aspal untuk mendapatkan nilai KAO (5,8%). Rendahnya nilai KAO disebabkan karena benda uji memiliki sedikit rongga atau lapisan udara sehingga menghasilkan nilai VIM yang tinggi yaitu sebesar 4,38%.
 - 4) Hasil pengujian dari ekstraksi *recycling asphalt* dengan *bottom ash 15%* menghasilkan nilai KAO senilai 5,9%. Dimana nilai VIM 4,16% menunjukkan kondisi KAO yang kecil sehingga

pori/rongga dalam benda uji sangat kecil menyebabkan benda uji terlalu padat.

3. Ketahanan aspal berdasarkan stabilitas campuran aspal dari material ekstraksi dan kombinasi abu dasar adalah sebagai berikut:
 - 1) Stabilitas aspal konvensional senilai 1001 Kg.
 - 2) Nilai stabilitas ekstraksi *recycling asphalt* senilai 718 Kg.
 - 3) Stabilitas *recycling asphalt* dengan tambahan komposisi *bottom ash 10%* senilai 931Kg.
 - 4) Stabilitas *recycling asphalt dengan bottom ash 15%* senilai 944 Kg.

REFERENSI

- Krupa, S. S., Ashok, P. (2018). Study on Reclaimed Asphalt Pavements, *International Journal of Innovative Research in Technology, JIRT*, Vol.4, No.10.
- Azizah., Sri. Y. L. (2019). Pemanfaatan Limbah Abu Dasar Batubara (*Bottom Ash*) Sebagai Adsorben Logam FE Pada Limbah Cair PLTU Teluk Sirih, Sumatera Barat, *Jurnal Aerasi*, Vol. 1 No.1.
- Desi, W., Ratna. Y., Akmaluddin., A. Prabowo., Shofia. R. (2019). Analisis Karakteristik Marshall Pada Beton Aspal Lapis Pengikat (*Asphalt Concrete-Binder Course*) Menggunakan Aspal Modifikasi Serbuk Serat Pelepeh Batang Pisang. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 6(1), 85-95.
- Nono. (2015). Pemanfaatan Material Daur Ulang (Rap) Perkerasan Beraspal Untuk Campuran Beraspal Dingin Bergradasi Menerus Dengan Aspal Cair (*Utilization Of Reclaimed Asphalt Pavement Materials (Rap) For Continuous Graded Cold Mix Using Cut-Back Asphalt*). Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung, 1 Desember 2015.
- I Wayan S. 2012. Pemanfaatan Abu Dasar (*Bottom Ash*) Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Campuran Beton. *Infrastruktur*, 1(1), 65-73
- M Enieb., Mohammed. A. H A, Hamid. A. E. Al. J., AS Eltwati. (2021). Sustainability of using reclaimed asphalt pavement: based-reviewed evidence. *IICESAT Conference, College of Material Engineering*, University of Babylon, Iraq. 14 Oktober 2021.
- Aysegul, G. S., Mehmet T. S., Muhammet V. A. (2018) Investigation of the Effect of Recycled Asphalt Pavement Material on Permeability and Bearing Capacity in the Base Layer. *Hindawi Advances in Civil Engineering*. Gumushane University. Turkey. 1 Februari 2018.
- Krupa, S. S., Prof. Ashok P. (2018). Study on Reclaimed Asphalt Pavements. *International Journal of Innovative Research in Technology. JIRT*, 4(10).
- Sharaf, A. K. (2021). Environment friendly recycled asphalt pavement design. *Civil Engineering Department, College of Engineering and Petroleum*, Springer, Kuwait University, Safat, Kuwait, 10 Januari 2022.
- Lizar. (2017). Analisis Pengaruh Perbedaan Sumber Fly Ash Bottom Ash Terhadap Karakteristik Perkerasan Lentur. *Master Tesis*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Azizah., Sri Y. L. (2019). Pemanfaatan Limbah Abu Dasar Batubara (*Bottom Ash*) Sebagai Adsorben Logam FE Pada Limbah Cair PLTU Teluk Sirih, Sumatera Barat. *Jurnal Aerasi*, 1(1).
- Ria. N H., Prihantono., Anisah. (2020). Pemanfaatan Abu Dasar (*Bottom Ash*) dan Kapur Sebagai Pengganti Sebagian

- Semen Pada *Paving Block* Sesuai Dengan SNI 03-0691-1996. *Journal civil engineering*, 15(1).
- Adomas, N., Valdas, P., Alfreda, K., Gerda, J. (2019). Biomass Bottom Ash Recycling As Pavement Base. Proceedings of the 9th International Scientific Conference Rural Development, 29 Desember 2019.
- Ratna, H., Ria, A, A, S., Heri, B., Januarti, J E. (2016). The Usage of *Fly Ash* for *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*, *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Filler*. *International Seminar on Science and Technology*. Surabaya, 2 Agustus 2016.
- M. Iqbal M. 2019. Analisis Jenis Pelarut Untuk Ekstraksi Aspal Pada Perkerasan Ac-Wc (Asphalt Concrete–Wearing Course). *Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 6(3).
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010, "Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Revisi 2", Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta, 2018.
- M. Iqbal M. 2019. Analisis Jenis Pelarut Untuk Ekstraksi Aspal Pada Perkerasan Ac-Wc (Asphalt Concrete–Wearing Course). *Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 6(3).
- Fitridawati, S., Sugeng, W., Arhan W. (2015). Kajian Perbandingan Kadar Aspal Hasil Ekstraksi Campuran Ac-Wc Gradasi Kasar Dengan Cairan Ekstraksi Menggunakan Bensin. *Annual Civil Engineering Seminar*. Universitas Lancang Kuning, Pekanbaru.
- C. Karisma., S. Sulistyono., R. Endah. 2014. Evaluasi Hasil Pengujian Ekstraksi Menggunakan Metode Sentrifugal Dan Refluk Pada Campuran Ac-Wc. *FSTPT International Symposium*, Jember University. 22-24 August 2014.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2004. SK RSNI M-05-2004 : Cara Uji Ekstraksi Kadar Aspal dari Campuran Beraspal Menggunakan Tabung Refluk Gelas. Jakarta.