

Gradasi Potensial Material Daur Ulang Pasca Bencana Kota Palu sebagai Bahan Penyusun Perkerasan Lentur

Novita Pradani¹, Rita Irmawaty², Muhammad Wihardi Tjaronge³ dan Irwan Ridwan Rahim⁴

Mahasiswa Doktoral Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar¹

Dosen Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar^{2,3,4}

e-mail: novpradani@gmail.com¹, rita_irmaway@yahoo.co.id², tjaronge@yahoo.co.jp³ dan irwanrr@yahoo.com⁴

ABSTRACT

The earthquake in Central Sulawesi in September 2018, accompanied by tsunami and liquefaction, caused very significant infrastructure damage, especially in Palu City. Roads are one of the vital infrastructures that have suffered a lot of damage. Efforts to rehabilitate roads due to the disaster have been carried out and have left quite a lot of old road pavement material. This dredging material needs to be optimized for use, especially in new pavements. Because this can make new materials efficient, especially aggregates in the pavement mixture. The use of new aggregates can be conditioned to a minimum by making efficient use of recycled materials. Namely by determining the type of pavement layer that best suits the gradation conditions of the recycled material. The purpose of this study was to obtain the type of flexible pavement layer that best suits the gradation of post-disaster recycled material based on standard specifications. The method used is sieving analysis of recycled material from several locations in Palu City that were affected by the disaster. The results showed that the use of post-disaster recycled materials, based on the recycled aggregate suitability value, was the AC-WC layer of 78.33%, the HRS-WC layer of 70%, the AC-BC layer of 66.67%, the layer of AC-Base is 41.67% and SMA-Thin layer is 40%. Based on the grading analysis, post-disaster recycled material in Palu City is most suitable for the AC-WC layer type because the addition of new aggregate is the least, resulting in the most optimal use of recycled material.

Kata kunci: Recycled Material, Post Disaster Material, Flexible Pavement, Gradation

ABSTRAK

Bencana gempa bumi Sulawesi Tengah pada September 2018 yang disertai tsunami dan likuifaksi, menyebabkan kerusakan infrastruktur yang sangat signifikan terutama di Kota Palu. Salah satu prasarana vital yang banyak mengalami kerusakan adalah jalan raya. Upaya rehabilitasi jalan akibat bencana telah dilakukan dan menyisakan material kupasan perkerasan jalan lama yang cukup banyak. Material kupasan ini perlu dioptimalkan penggunaannya terutama dalam perkerasan jalan baru. Karena hal ini dapat mengefisienkan penggunaan material baru terutama agregat dalam campuran perkerasan jalan. Penggunaan agregat baru dapat dikondisikan seminimal mungkin dengan melakukan efisiensi penggunaan material daur ulang. Yaitu dengan menentukan jenis lapis perkerasan jalan yang paling sesuai dengan kondisi gradasi material daur ulang. Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh jenis lapis perkerasan lentur yang paling sesuai dengan gradasi material daur ulang pasca bencana di Kota Palu berdasarkan standar spesifikasi. Metode yang digunakan adalah analisa saringan dari material daur ulang beberapa lokasi di Kota Palu yang terdampak bencana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan material daur ulang pasca bencana di Kota Palu, berdasarkan nilai kesesuaian agregat daur ulang adalah lapisan AC-WC sebesar 78,33%, lapisan HRS-WC sebesar 70%, lapisan AC-BC sebesar 66,67%, lapisan AC-Base sebesar 41,67% dan lapisan SMA-Tipis sebesar 40%. Berdasarkan analisis gradasi, material daur ulang pasca bencana di Kota Palu paling cocok untuk jenis lapisan AC-WC karena paling sedikit penambahan agregat baru sehingga menghasilkan penggunaan material daur ulang yang paling optimal.

Kata kunci: Material daur ulang, Material pasca bencana, Perkerasan lentur, Gradasi

PENDAHULUAN

Daur ulang perkerasan jalan merupakan teknologi alternatif dalam pembangunan dan rehabilitasi struktur perkerasan jalan yang berkembang pesat dewasa ini, karena makin terbatas dan tingginya harga material perkerasan [1][2][3][4]. Penggunaan material berbasis limbah lingkungan perlu dioptimalkan sehingga dapat menghemat penggunaan material alam khususnya agregat alam [5]. Selain itu, penggunaan teknologi daur ulang juga sesuai dengan Visium Kementerian PUPR 2030 bidang Bina Marga yang tertuang dalam Permen Menteri PUPR No. 26/ PRT/M/2017 yaitu: jalan 99% mantap yang terintegrasi antar moda yang memanfaatkan sebanyak-banyaknya material lokal dan menggunakan teknologi daur ulang.

Perkerasan daur ulang adalah perkerasan yang memanfaatkan kembali material perkerasan lama (agregat dan bitumen) untuk digunakan sebagai perkerasan baru dengan menambahkan material baru dan/atau

material peremajaan. Bahan yang rusak dapat digunakan kembali, karakteristiknya dapat diperbaiki, didaur ulang, dan ditingkatkan [6][7].

Agregat merupakan komponen utama dalam material penyusun struktur perkerasan jalan. Dalam campuran beraspal, komposisi agregat sebesar 90-95% berdasarkan persentase berat atau 75-85% berdasarkan persentase volume [8]. Oleh karena itu, maka keawetan, daya dukung dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Teknologi pemanfaatan bahan daur ulang masih memerlukan penelitian lebih lanjut, meskipun teknologi ini memiliki banyak manfaat. Berkaitan dengan hal tersebut, penelitian yang merupakan bagian awal dari evaluasi campuran aspal menggunakan bahan daur ulang pasca bencana ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang gradasi bahan perkerasan jalan daur ulang pasca bencana di Kota Palu, sebagai material lapisan perkerasan lentur.

TINJAUAN PUSTAKA

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

Daur ulang perkerasan jalan sering disebut dengan *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*. Menurut The U.S. Department of Transportation Research Federal Highway Administration Research and Technology, *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* merupakan material hasil proses daur ulang bahan perkerasan yang mengandung aspal dan agregat [9]. Perkerasan daur ulang adalah perkerasan yang memanfaatkan kembali material perkerasan lama (agregat dan bitumen) untuk digunakan sebagai perkerasan baru dengan menambahkan material baru dan/atau bahan peremajaan. Bahan yang rusak dapat digunakan kembali, karakteristiknya dapat diperbaiki, didaur ulang, dan ditingkatkan. Material perkerasan jalan lama dapat digunakan dengan aplikasi yang sama dengan aplikasi awal, atau sebagai bagian dari material baru [3][6].

Gradasi Agregat

Gradasi merupakan susunan ukuran butiran dari agregat penyusun perkerasan jalan. Secara umum gradasi agregat terdiri dari gradasi rapat, gradasi seragam dan gradasi senjang. Gradasi rapat adalah gradasi dengan campuran agregat kasar dan halus dalam proporsi yang seimbang. Gradasi ini menghasilkan stabilitas perkerasan jalan yang tinggi, kurang kedap air, drainase yang buruk dan volume yang besar. Gradasi seragam adalah gradasi dengan ukuran agregat yang hampir sama, mengandung agregat halus dengan jumlah sedikit sehingga tidak dapat mengisi rongga-rongga agregat. Campuran ini akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan permeabilitas tinggi, stabilitas rendah dan berat volume yang kecil. Sedangkan gradasi senjang adalah gradasi yang kehilangan satu fraksi ukuran agregat atau fraksi dengan jumlah sedikit [10].

METODE

Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah dengan mengambil sampel hasil kupasan perkerasan jalan lama pada beberapa lokasi yang terdampak bencana di Kota Palu. Lokasi pengambilan sampel adalah di Kelurahan Tondo, Kelurahan Talise, Kelurahan Kabonena, Kelurahan Balaroa dan Kelurahan Donggala Kodi. Selanjutnya tiap sampel diekstraksi menggunakan alat ekstraksi metode sentrifugal, untuk memisahkan kandungan agregat dan aspalnya. Metode sentrifugal adalah metode ekstraksi yang menggunakan prinsip mekanisme putaran, yang bertujuan untuk memisahkan campuran beraspal dengan cara mengaduk pelarut dan sampel secara mekanis. Metode ini membutuhkan waktu pengujian yang relatif lebih cepat dibandingkan metode ekstraksi yang lain [11]. Pelarut yang digunakan pada pengujian ini adalah bensin. Agregat hasil ekstraksi selanjutnya dilakukan pengujian analisa saringan [12] untuk mengetahui gradasi butirannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian analisa saringan dilakukan terhadap sampel hasil ekstraksi pada 5 lokasi pengambilan material RAP yang berbeda dan penamaan sampel berdasarkan lokasi pengambilan RAP, yaitu: RAP Tondo, RAP Talise, RAP Kabonena, RAP Balaroa dan RAP Donggala Kodi. Selanjutnya hasil analisa saringan tiap

sampel dihitung kesesuaiannya dengan spesifikasi gradasi campuran *Asphaltic Concrete* (AC) baik itu *Asphaltic Concrete Wearing Course* (AC-WC), *Asphaltic Concrete Binder Course* (AC-BC) dan *Asphaltic Concrete Base* (AC Base) serta gradasi campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS-WC) dan *Stone Matrix Asphalt* (SMA-Tipis). Gradasi campuran yang digunakan mengacu pada spesifikasi terbaru Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat [13].

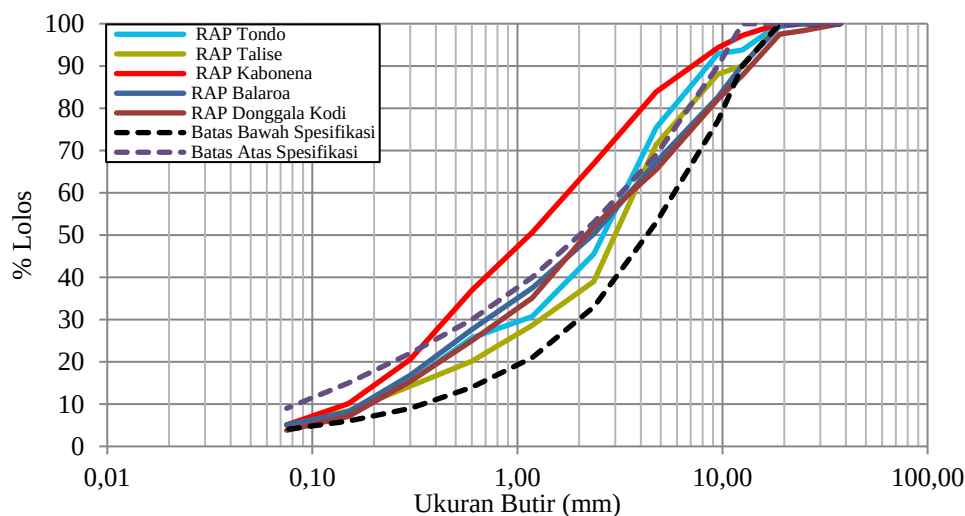
Asphaltic Concrete (AC)

Berdasarkan pengujian Analisa Saringan terhadap sampel hasil ekstraksi pada 5 lokasi pengambilan material RAP yang berbeda serta perhitungan nilai kesesuaian dengan spesifikasi gradasi campuran Aspal Beton (AC), diperoleh hasil seperti pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 1. Kesesuaian gradasi RAP pada campuran AC-WC

Ukuran Ayakan		% Lolos					Spesifikasi Gradasi AC-WC	
ASTM	mm	RAP Tondo	RAP Talise	RAP Kabonena	RAP Balaroa	RAP Donggala Kodi	Maks	Min
1 1/2"	37,500	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100	100
1"	25,000	100,00	100,00	100,00	100,00	98,40*	100	100
3/4"	19,000	100,00	100,00	100,00	99,40*	97,50*	100,00	100,00
1/2"	12,500	93,78	90,06	97,22	90,22	87,80*	100,00	90,00
3/8"	9,500	92,86*	88,07	94,30*	82,63	82,10	90,00	77,00
No.4	4,750	75,45*	71,44*	83,90*	67,26	65,50	69,00	53,00
No.8	2,360	45,51	39,01	66,90*	50,26	52,10	53,00	33,00
No.16	1,180	30,70	28,65	50,59*	37,44	35,10	40,00	21,00
No.30	0,600	25,70	20,15	36,93*	27,65	25,00	30,00	14,00
No.50	0,300	15,36	14,24	20,58	16,82	15,40	22,00	9,00
No.100	0,150	8,38	8,43	10,11	8,17	7,10	15,00	6,00
No.200	0,075	5,10	5,03	5,09	5,07	3,80*	9,00	4,00
Kesesuaian (%)		83,33	91,67	58,33	91,67	66,67		
Rata-rata (%)				78,33				

Note: tanda * = tidak memenuhi spesifikasi



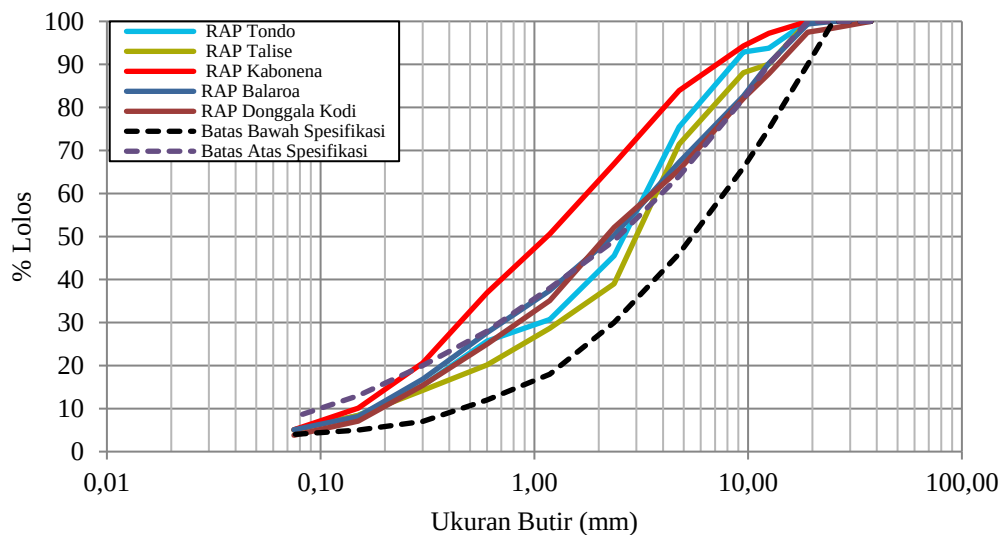
Gambar 1. Gradasi RAP terhadap campuran AC-WC

Tabel 2. Kesesuaian gradasi RAP pada campuran AC-BC

Ukuran Ayakan	% Lolos	Spesifikasi Gradasi AC-BC
---------------	---------	---------------------------

ASTM	mm	RAP Tondo	RAP Talise	RAP Kabonena	RAP Balaroa	RAP Donggala Kodi	Maks	Min
1 1/2"	37,500	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100	100
1"	25,000	100,00	100,00	100,00	100,00	98,40*	100	100
3/4"	19,000	100,00	100,00	100,00	99,40	97,50	100	90,00
1/2"	12,500	93,78*	90,06*	97,22*	90,22*	87,80	90	75,00
3/8"	9,500	92,86*	88,07*	94,30*	82,63*	82,10*	82	66,00
No.4	4,750	75,45*	71,44*	83,90*	67,26*	65,50*	64	46,00
No.8	2,360	45,51	39,01	66,90*	50,26*	52,10*	49	30,00
No.16	1,180	30,70	28,65	50,59*	37,44	35,10	38	18,00
No.30	0,600	25,70	20,15	36,93*	27,65	25,00	28	12,00
No.50	0,300	15,36	14,24	20,58*	16,82	15,40	20	7,00
No.100	0,150	8,38	8,43	10,11	8,17	7,10	13	5,00
No.200	0,075	5,10	5,03	5,09	5,07	3,80*	8	4,00
Kesesuaian (%)		75,00	75,00	58,33	66,67	58,33		
Rata-rata (%)				66,67				

Note: tanda * = tidak memenuhi spesifikasi



Gambar 2. Gradasi RAP terhadap campuran AC-BC

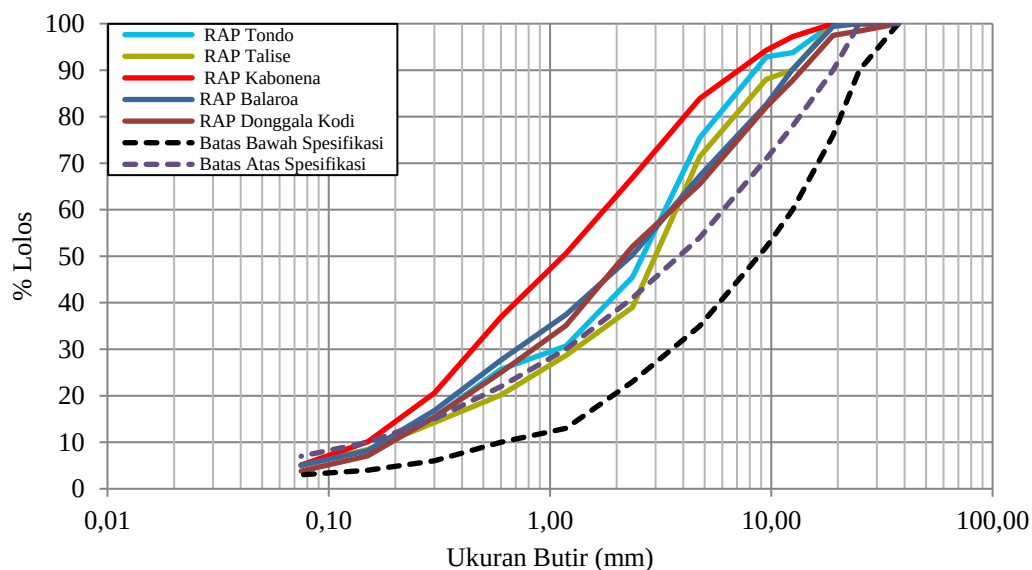
Berdasarkan pada Tabel 1, diperoleh hasil kesesuaian gradasi rata-rata terhadap campuran AC-WC sebesar 78,33%. Hasil kesesuaian tertinggi diperoleh pada material RAP Talise dan RAP Balaroa yaitu sebesar 91,67%. Fenomena ini terlihat jelas pada Gambar 1 bahwa gradasi RAP keduanya yang cenderung halus, menyerupai gradasi campuran AC-WC. Campuran AC-WC mewakili campuran bergradasi rapat cenderung halus.

Hasil kesesuaian gradasi RAP terhadap campuran AC-BC diperoleh hasil seperti pada Tabel 2 yaitu rata-rata nilai kesesuaian sebesar 66,67%. Nilai kesesuaian tertinggi diperoleh pada material RAP Tondo dan RAP Talise yaitu sebesar 75%. Gradasi AC-BC juga mewakili campuran bergradasi rapat, namun dengan komposisi agregat kasar yang lebih banyak dibandingkan AC-WC.

Tabel 3. Kesesuaian gradasi RAP pada campuran AC-Base

Ukuran Ayakan		% Lolos					Spesifikasi Gradasi AC-Base	
ASTM	mm	RAP Tondo	RAP Talise	RAP Kabonena	RAP Balaroa	RAP Donggala Kodi	Maks	Min
1 1/2"	37,500	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100	100
1"	25,000	100,00	100,00	100,00	100,00	98,40	100	90
3/4"	19,000	100,00*	100,00*	100,00*	99,40*	97,50*	90	76,00
1/2"	12,500	93,78*	90,06*	97,22*	90,22*	87,80*	78	60,00
3/8"	9,500	92,86*	88,07*	94,30*	82,63*	82,10*	71	52,00
No.4	4,750	75,45*	71,44*	83,90*	67,26*	65,50*	54	35,00
No.8	2,360	45,51	39,01*	66,90*	50,26*	52,10*	41	23,00
No.16	1,180	30,70	28,65*	50,59*	37,44*	35,10*	30	13,00
No.30	0,600	25,70	20,15	36,93*	27,65*	25,00*	22	10,00
No.50	0,300	15,36	14,24	20,58*	16,82*	15,40*	15	6,00
No.100	0,150	8,38	8,43	10,11*	8,17	7,10	10	4,00
No.200	0,075	5,10	5,03	5,09	5,07	3,80	7	3,00
Kesesuaian (%)		66,67	50,00	25,00	33,33	33,33		
Rata-rata (%)		41,67						

Note: tanda * = tidak memenuhi spesifikasi



Gambar 3. Gradasi RAP terhadap campuran AC-Base

Berdasarkan pada Tabel 3, diperoleh hasil kesesuaian gradasi rata-rata terhadap campuran AC-Base sebesar 41,67%. Hasil kesesuaian tertinggi diperoleh pada material RAP Tondo yaitu sebesar 66,67%. Nilai kesesuaian yang cukup rendah ini juga terlihat pada Gambar 3. Terlihat bahwa hampir seluruh gradasi RAP berada diluar amplop spesifikasi gradasi campuran AC-Base. Hal ini dimungkinkan karena gradasi RAP yang sebagian besar cenderung halus, kurang sesuai dengan gradasi AC-Base yang didominasi agregat kasar. Campuran AC-Base ini mewakili campuran bergradasi rapat yang cenderung lebih didominasi agregat kasar.

Hot Rolled Sheet (HRS)

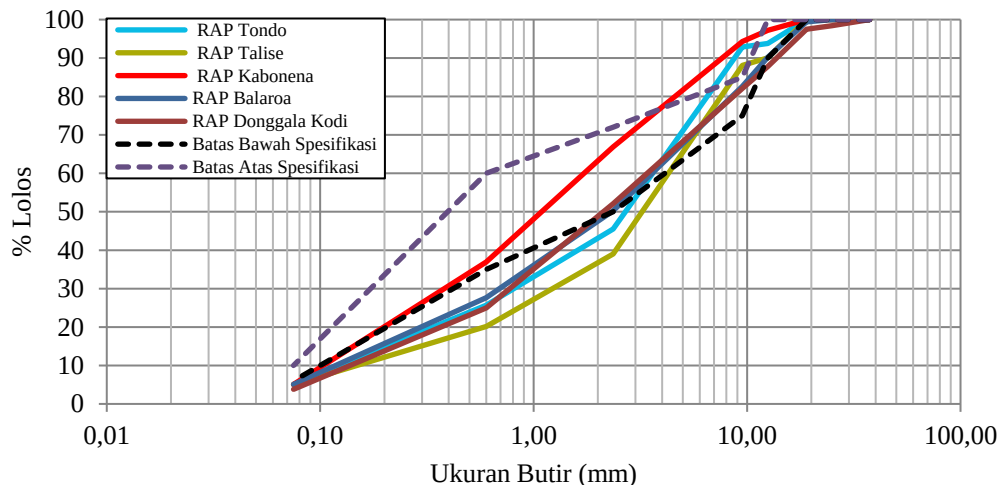
Berdasarkan pengujian Analisa Saringan terhadap sampel hasil ekstraksi pada 5 lokasi pengambilan material RAP yang berbeda serta perhitungan kesesuaian terhadap gradasi campuran *Hot Rolled Sheet*

Wearing Course (HRS-WC), diperoleh hasil seperti pada tabel 4 dan gambar 4. Berdasarkan pada Tabel 4, diperoleh hasil kesesuaian gradasi rata-rata sebesar 70%. Hasil kesesuaian tertinggi diperoleh pada material RAP Kabonena yaitu sebesar 83,33%. Campuran HRS-WC mewakili campuran bergradasi senjang cenderung halus. Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa material RAP Kabonena memiliki kecenderungan kesesuaian yang lebih tinggi dengan spesifikasi gradasi campuran HRS-WC.

Tabel 4. Kesesuaian gradasi RAP pada campuran HRS-WC

Ukuran Ayakan		% Lolos					Spesifikasi Gradasi HRS-WC	
ASTM	mm	RAP Tondo	RAP Talise	RAP Kabonena	RAP Balaroa	RAP Donggala Kodi	Maks	Min
1 1/2"	37,500	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,000	100,00	100,00	100,00	100,00	98,40*	100,00	100,00
3/4"	19,000	100,00	100,00	100,00	99,40	97,50*	100,00	100,00
1/2"	12,500	93,78	90,06	97,22	90,22	87,80*	100,00	90,00
3/8"	9,500	92,86*	88,07*	94,30*	82,63	82,10	85,00	75,00
No.8	2,360	45,51*	39,01*	66,90	50,26	52,10	72,00	50,00
No.30	0,600	25,70*	20,15*	36,93	27,65*	25,00*	60,00	35,00
No.200	0,075	5,10*	5,03*	5,09*	5,07*	3,80*	10,00	6,00
Kesesuaian (%)		66,67	66,67	83,33	75,00	58,33		
Rata-rata (%)				70,00				

Note: tanda * = tidak memenuhi spesifikasi



Gambar 4. Gradasi RAP terhadap campuran HRS-WC

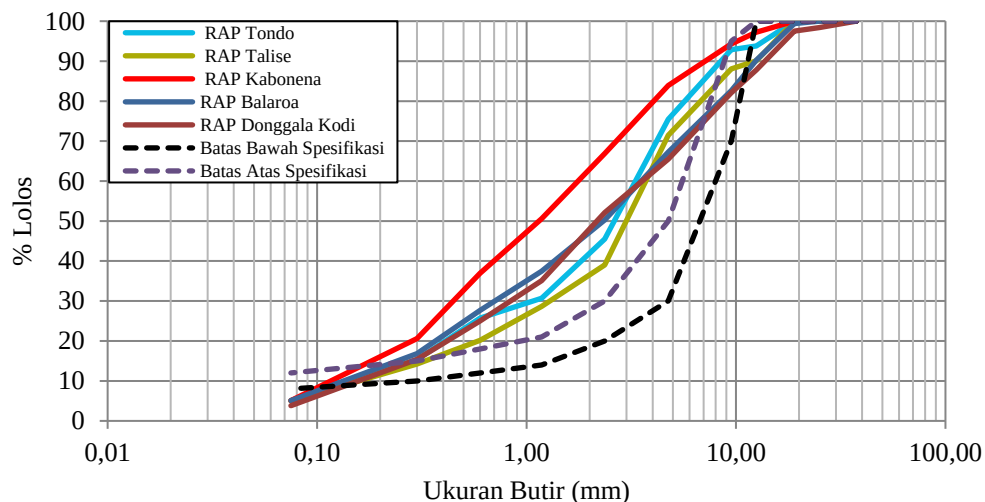
Stone Matrix Asphalt (SMA)

Berdasarkan pengujian Analisa Saringan terhadap sampel hasil ekstraksi pada 5 lokasi pengambilan material RAP yang berbeda serta perhitungan kesesuaian terhadap gradasi campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA-Tipis), diperoleh hasil seperti pada tabel 5 dan gambar 5. Berdasarkan pada Tabel 5, diperoleh hasil kesesuaian gradasi rata-rata sebesar 40%. Hasil kesesuaian tertinggi diperoleh pada material RAP Tondo dan Talise yaitu sebesar 50%. Campuran SMA-Tipis ini mewakili campuran bergradasi seragam cenderung halus. Nilai kesesuaian yang rendah juga terlihat pada Gambar 5, terlihat bahwa sebagian besar gradasi RAP berada diatas amplop spesifikasi gradasi SMA-Tipis.

Tabel 5. Kesesuaian gradasi RAP pada campuran SMA-Tipis

Ukuran Ayakan		% Lolos					Spesifikasi Gradasi SMA-Tipis	
ASTM	mm	RAP Tondo	RAP Talise	RAP Kabonena	RAP Balaroa	RAP Donggala Kodi	Maks	Min
1 1/2"	37,500	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,000	100,00	100,00	100,00	100,00	98,40*	100,00	100,00
3/4"	19,000	100,00	100,00	100,00	99,40*	97,50*	100,00	100,00
1/2"	12,500	93,78*	90,06*	97,22*	90,22*	87,80*	100,00	100,00
3/8"	9,500	92,86	88,07	94,30	82,63	82,10	95,00	70,00
No.4	4,750	75,45*	71,44*	83,90*	67,26*	65,50*	50,00	30,00
No.8	2,360	45,51*	39,01*	66,90*	50,26*	52,10*	30,00	20,00
No.16	1,180	30,70*	28,65*	50,59*	37,44*	35,10*	21,00	14,00
No.30	0,600	25,70*	20,15*	36,93*	27,65*	25,00*	18,00	12,00
No.50	0,300	15,36	14,24	20,58*	16,82*	15,40*	15,00	10,00
No.200	0,075	5,10*	5,03*	5,09*	5,07*	3,80*	12,00	8,00
Kesesuaian (%)		50,00	50,00	41,67	33,33	25,00		
Rata-rata (%)				40,00				

Note: tanda * = tidak memenuhi spesifikasi



Gambar 5. Gradasi RAP terhadap campuran SMA-Tipis

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis diperoleh beberapa kesimpulan pada penelitian ini yaitu:

1. Material daur ulang perkerasan jalan pasca bencana di Kota Palu dapat digunakan sebagai pengganti agregat dalam campuran beraspal, namun perlu beberapa penyesuaian agar dapat memberikan kinerja perkerasan yang optimal.
2. Berdasarkan hasil analisa gradasi, material daur ulang perkerasan jalan pasca bencana di Kota Palu memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap gradasi campuran AC-WC dengan nilai kesesuaian sebesar 78,33%, selanjutnya campuran HRS-WC sebesar 70% dan campuran AC-BC sebesar 66,67%.
3. Selain gradasi agregat, dalam penggunaan kembali material daur ulang perkerasan jalan perlu memperhatikan kualitas fisik dari material daur ulang yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Bria, A. H. Muda, L. Dumin, and A. E. Mata, “Menggunakan Teknologi Daur Ulang,” 2013.
- [2] Y. Oktopianto and D. W. Hidayat, “Analisis Efisiensi Penggunaan Teknologi Aspal Daur Ulang Pada Jalan Tol Elevated Ir. Wiyoto Wiyono,” *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 172–179, 2020, doi: 10.35334/be.v4i2.1587.
- [3] N. Pradani, B. S. Subagio, and H. Rahman, “Kinerja Kelelahan Campuran Beton Aspal Lapis Aus Menggunakan Material Hasil Daur Ulang Dan Polimer Styrene-Butadiene-Styrene,” *J. Transp.*, vol. 11, no. 3, pp. 163–172, 2011.
- [4] M. W. Tjaronge and R. Irmawaty, “Influence of water immersion on physical properties of porous asphalt containing liquid asbuton as bituminous asphalt binder,” *Sustain. Constr. Mater. Technol.*, vol. 2013-August, 2013.
- [5] A. Widayanti, R. A. A. Soemitro, J. J. Ekaputri, and H. Suprayitno, “Gradation Analysis of Reclaimed Asphalt Pavement from National Road as Asphalt Concrete Layer,” *J. Infrastruct. Facil. Asset Manag.*, vol. 1, no. 1, pp. 25–34, 2019, doi: 10.12962/jifam.v1i1.5205.
- [6] R. T. Bethary, B. S. Subagio, H. Rahman, and N. Suaryana, “Effect of recycled materials on marshall performance of hot asphalt mixture (HMA-RAP),” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 508, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/508/1/012048.
- [7] S. H. Carpenter, W. J. Pine, and J. Trepanier, “IMPACT OF HIGH RAP CONTENT ON STRUCTURAL AND PERFORMANCE Prepared By,” *Civ. Eng. Stud. Illinois Cent. Transp. Ser. No. 12-002 UILU-ENG-2012-2006 ISSN 0197-9191*, no. 12, 2012.
- [8] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*. Yayasan Obor Indonesia, 2007.
- [9] A. Copeland, “Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice,” 2011.
- [10] S. Sukirman, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova, 1995.
- [11] Departemen Pekerjaan Umum, *SK SNI 03-6894-2002 : Metode Pengujian Kadar Aspal Dari Campuran Beraspal Dengan Cara Centrifugal*. Indonesia, 2004.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Indonesia, 1990, pp. 1–5.
- [13] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Revisi 2 Seksi 6.3 Spesifikasi Campuran Beraspal Panas*. Indonesia, 2018.