

Pengaruh Penambahan Filler Fly Ash PLTU Holtekamp dan Filler Karang Koya terhadap Campuran Aspal Panas Lataston (HRS-WC)

Anddy Santoso*, Bahtiar, Monita Yessy Beatrick Wambrauw, Duha Awaluddin
Kurniatullah, Ira Widyastuti

Universitas Cenderawasih, Indonesia

Email: anddy.04@gmail.com*, bahtiarpati2015@gmail.com,
monita_yessy.wambrauw@mymail.unisa.edu.au, duhaawaluddin@gmail.com,
iwydyastuti09@gmail.com

Keywords:

lataston (HRS-WC); fly ash
PLTU; karang.

Abstract

The performance of Lataston type hot asphalt mix (Hot Rolled Sheet Wearing Course/HRS-WC) is greatly influenced by the type and proportion of filler used. This study aims to determine the effect of adding Holtekamp PLTU Fly Ash filler and Karang Koya filler on the Marshall characteristics of HRS-WC hot asphalt mix, with variations in filler content of 3%, 3.5%, 4%, 4.5%, and 5% of the total weight of the mixture. The research method was carried out experimentally in the laboratory using the main materials of coarse aggregate, fine aggregate, 60/70 penetration asphalt, and two types of filler, namely Holtekamp PLTU fly ash and Karang Koya. Testing was carried out based on the Marshall Test procedure to obtain stability, flow, Marshall Quotient (MQ) values, and volumetric parameters such as Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), and Void Filled with Bitumen (VFB). The results of the study indicate that the addition of Fly Ash filler and coral filler affects the performance of the HRS-WC mixture for several variations of filler combinations with optimum asphalt content variants of 7.75% and 8.00% and effective asphalt content variants between 6.28% - 6.53%. The use of fly ash filler with content variants of 3% and 3.5% and the use of coral filler with content variants of 3% and 3.5% and the use of a combination of fly ash and coral filler with content variants of 3%, 3.5%, 4% and 4.5% shows values that meet the parameters of the 2018 Bina Marga Specifications and can be used as a composition of HRS-WC mixtures. The conclusion is that fly ash from the Holtekamp PLTU and Karang Koya materials at several filler content variations can be used as alternative fillers in HRS-WC mixtures.

Kata Kunci:

lataston (HRS-WC); fly ash
PLTU; karang.

Abstrak

Kinerja campuran aspal panas jenis Lataston (Hot Rolled Sheet Wearing Course/HRS-WC) sangat dipengaruhi oleh jenis dan proporsi bahan pengisi (filler) yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan filler Fly Ash PLTU Holtekamp dan filler karang koya terhadap karakteristik Marshall campuran aspal panas HRS-WC, dengan variasi kadar filler sebesar 3%, 3,5%, 4%, 4,5%, dan 5% terhadap berat total campuran. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan bahan utama agregat kasar, agregat halus, aspal penetrasi 60/70, serta dua jenis filler yaitu fly ash PLTU Holtekamp dan Karang Koya. Pengujian dilakukan berdasarkan prosedur Marshall Test untuk memperoleh nilai stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), serta parameter volumetrik seperti Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Bitumen (VFB). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan filler Fly Ash dan filler karang berpengaruh terhadap kinerja

campuran HRS-WC untuk beberapa variasi penggabungan filler dengan varian nilai kadar aspal optimum 7.75% dan 8.00% serta varian kadar aspal efektif diantara 6.28%-6.53%. Pada penggunaan filler fly ash dengan varian kadar 3% dan 3.5% dan penggunaan filler karang varian kadar 3% dan 3.5% serta penggunaan kombinasi/gabungan filler fly ash dan karang dengan varian kadar 3%, 3.5%, 4% dan 4.5% menunjukan nilai yang memenuhi parameter Spesifikasi Bina Marga 2018 dan dapat digunakan sebagai komposisi bahan campuran HRS-WC. Kesimpulannya adalah bahan fly ash PLTU Holtekamp dan bahan Karang Koya pada beberapa variasi kadar filler dapat digunakan sebagai alternatif filler dalam campuran HRS-WC.

PENDAHULUAN

Dalam pekerjaan konstruksi dan pemeliharaan perkerasan jalan raya di Indonesia khususnya di Provinsi Papua membutuhkan material berkualitas baik dalam jumlah besar oleh karena itu perlu adanya inovasi baru dalam memodifikasikan material yang tersedia secara alami maupun sisa limbah dari perusahaan, baik hasil pembakaran bahan energi batu bara, pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan lain sebagainya agar tidak terbuang begitu dan dapat merusak lingkungan selain itu dapat dimanfaatkan sebaik-baiknya untuk memberi nilai ekonomis bagi masyarakat untuk meningkatkan taraf kehidupan (Hafidzurrakhman, 2024; Hermansyah, 2022; Sukirman, 2016).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah fly ash dan bottom ash tidak menjadi limbah kategori B3, sehingga pemanfaatan limbah fly ash dan bottom ash ini tergolong tinggi mengingat perubahan status dari limbah B3 menjadi tidak berbahaya (Djalili, 2016; Idayani, 2022; Mabui et al., 2023). Abu batu bara dijadikan sebagai bahan filler adalah abu terbang (fly ash), dimana abu terbang (fly ash) merupakan partikel yang halus lolos saringan bila disaring dengan menggunakan saringan No.200 dan mengandung unsur pozzolan, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan pengikat (Iqbal, 2023; Naveed et al., 2022; Qurny, 2022; Yuniarti et al., 2023). Abu terbang batu bara termasuk dalam kategori limbah industri yang mempunyai potensi sangat tinggi untuk digunakan dalam konstruksi jalan (Woszuk et al., 2019).

Disisi lain, Kota Jayapura juga memiliki bahan material alami yang dalam hal ini berupa material karang, dimana penggunaannya saat ini lebih sebagai bahan timbunan/urugan bangunan konstruksi bangunan gedung maupun sebagai urugan pilihan dalam stabilitas jalan raya (Del-Valle-Corte et al., 2024; Priyanto et al., 2024). Pertumbuhan pesat pada lalu lintas di Kota Jayapura terus-menerus menuntut kualitas material yang lebih baik untuk aplikasi perkerasan jalan (Akarsh et al., 2022; Lee et al., 2024). Pengembangan dan penggunaan campuran aspal modifikasi dapat memenuhi kebutuhan masyarakat dalam peningkatan kualitas jalan raya dengan melakukan modifikasi aspal yang dapat diwujudkan terutama melalui modifikasi polimer; Namun, metode ini mahal karena biaya polimer mentah, tenaga terampil, dan peralatan khusus (Fakhri et al., 2023; Hamzah et al., 2013; Slebi-Acevedo et al., 2020; Styer et al., 2024). Pada metode lain, modifikasi campuran aspal dapat dilakukan dengan mengganti bahan pengisi biasa (debu batu, kapur atau semen) yang dicampurkan langsung pada campuran perkerasan jalan yang berhubungan langsung dengan alat transportasi yaitu Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC).

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak akan material alternatif yang berkualitas, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk konstruksi jalan di Provinsi Papua. Dengan memanfaatkan limbah fly ash PLTU Holtekamp yang melimpah dan material karang Koya yang tersedia secara lokal, penelitian ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada filler konvensional yang mungkin sulit didapat atau mahal. Selain itu, penelitian ini juga mendukung program pemerintah dalam pengelolaan lingkungan hidup melalui pemanfaatan limbah non-B3. Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada penggunaan dua jenis filler alternatif (fly ash PLTU Holtekamp dan karang Koya) yang berasal dari sumber daya lokal Kota Jayapura, serta pengujian pengaruh kombinasi kedua filler tersebut pada campuran HRS-WC.

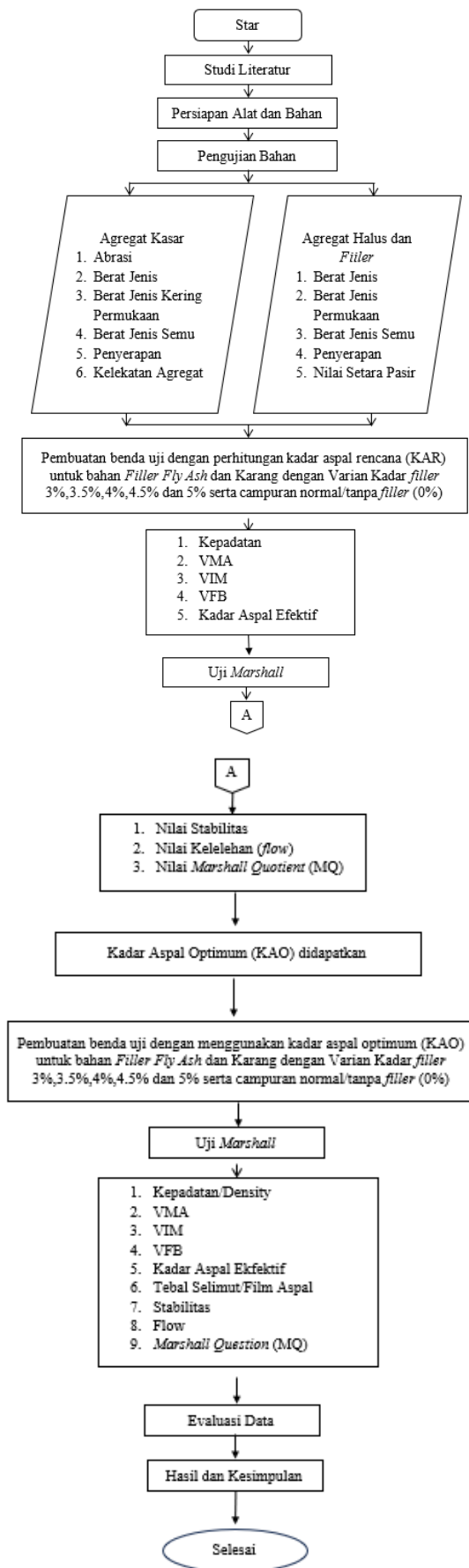
Dalam penulisan ini peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terhadap Pengaruh Penggunaan filler Abu Terbang (Fly Ash) dari sisa Limbah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Holtekamp dan Karang Koya Kota Jayapura dengan harapan dapat menjadi rekomendasi kepada pemerintah daerah Kota Jayapura Provinsi Papua dalam pemanfaatan yang lebih optimal terhadap penggunaan fly ash PLTU Holtekamp dan karang Koya. Berdasarkan penjelasan tersebut maka penulis tertarik melakukan penelitian dengan Judul “Pengaruh penambahan filler fly ash PLTU Holtekamp dan filler karang Koya terhadap campuran aspal panas Lataston (HRS-WC)”

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Populasi penelitian adalah seluruh material penyusun campuran aspal panas HRS-WC yang meliputi agregat kasar, agregat halus, aspal penetrasi 60/70, serta filler alternatif berupa fly ash PLTU Holtekamp dan karang Koya. Sampel penelitian berupa benda uji Marshall yang dibuat dengan variasi kadar filler 3%, 3,5%, 4%, 4,5%, dan 5% dari berat total campuran. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara purposive, yaitu material diambil dari sumber yang representatif: fly ash dari PLTU Holtekamp dan karang dari wilayah Koya, Kota Jayapura.

Instrumen penelitian utama adalah alat uji Marshall (Marshall Test apparatus) yang digunakan untuk mengukur stabilitas, flow, dan parameter volumetrik (VIM, VMA, VFB). Uji validitas instrumen dilakukan dengan kalibrasi alat sesuai standar ASTM, sedangkan uji reliabilitas dilakukan melalui pengujian berulang (duplo) pada sampel yang sama untuk memastikan konsistensi hasil. Prosedur pengumpulan data dimulai dari persiapan material, pengujian karakteristik material dasar (agregat, aspal, filler), pembuatan benda uji Marshall dengan variasi kadar filler, hingga pengujian Marshall. Proses pembuatan benda uji meliputi pencampuran material pada suhu 150-160°C, pemadatan dengan alat penumbuk Marshall sebanyak 2x75 kali, dan pendinginan selama 24 jam.

Seluruh prosedur pengujian mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Perangkat lunak yang digunakan untuk analisis data adalah Microsoft Excel untuk pengolahan data tabel dan grafik, serta perangkat lunak statistik pendukung untuk analisis regresi dan korelasi (Marga, 2018). Teknik analisis data meliputi analisis deskriptif untuk karakteristik material, analisis Marshall untuk menentukan nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) dan KAE (Kadar Aspal Efektif), serta analisis komparatif untuk membandingkan kinerja campuran pada berbagai variasi filler.



Gambar 1. Flowchart

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pengaruh penambahan *Fly Ash* PLTU Holtekamp dan Karang Koya sebagai *filler* terhadap campuran aspal panas Lataston (HRS-WC).

A. Penentuan nilai Kadar Aspal Optimum dan Kadar Aspal Efektif

Analisis dan penentuan nilai KAO dan KAE dari hasil pengujian *Marshall* pada campuran HRS-WC dengan menggunakan *filler Fly Ash* dan Karang yang sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Analisis dan penentuan nilai KAO dan KAE dari hasil percobaan *Marshall* sesuai spesifikasi Bina Marga 2018.

VARIAN KADAR FILLER DALAM CAMPURAN HRS-WC	(%) GRADASI AGREGAT	KA O (%)	KA E (%)	Kepadatan Density (gr/cc)	% Rongga thd Ag. Campuran VMA (%)	% Rongga thd Teria Aspal VFA (%)	% Rongga thd VIM (%)	Stabilitas (kg)	Kelelahan Flow (mm)	Marshall Quotient MQ (kg/cm)	Tebal Film Asal TFA (mikron µm)
FILLER 0%	AG. KASAR 40 / AG. HALUS 60 / FILLER 0	7,00	5,62	2,19	19,45	61,29	7,54	880,11	2,93	299,90	10,52
KARANG 3%	40 / 57 / 3	7,75	6,39	2,21	19,08	71,73	5,40	845,91	2,87	295,32	12,48
KARANG 3,5%	40 / 56,5 / 3,5	7,75	6,39	2,20	19,55	69,57	5,95	871,02	3,00	290,94	12,48
KARANG 4%	40 / 56 / 4	7,75	6,39	2,18	19,98	67,72	6,45	821,81	3,10	265,30	12,47
KARANG 4,5%	35,50 / 60 / 4,5	8,00	6,67	2,18	20,83	67,68	6,74	796,65	3,17	251,72	12,40
KARANG 5%	35 / 60 / 5	8,00	6,67	2,19	20,05	68,91	6,39	795,07	3,27	243,44	11,95
FLY ASH 3%	40 / 57 / 3	8,00	6,53	2,21	19,10	73,11	5,14	831,38	3,13	265,68	12,79
FLY ASH 3,5%	36,50 / 60 / 3,5	7,75	6,28	2,21	19,14	70,23	5,70	796,39	3,07	259,75	11,78
FLY ASH 4%	40 / 56 / 4	7,50	6,01	2,21	18,93	67,98	6,07	825,32	3,27	253,16	11,18
FLY ASH 4,5%	40,50 / 55 / 4,5	5,97	2,94	16,95	76,68	3,97	809,03	3,13	258,36	11,23	
FLY ASH 5%	40 / 55 / 5	7,75	6,21	2,25	17,06	79,39	3,33	784,14	3,23	242,96	12,10
KARANG + FLY ASH 3%	42 / 55 / 1,5	7,75	6,32	2,21	18,53	73,23	4,96	903,86	2,77	328,62	11,40
KARANG + FLY ASH 3,5%	40 / 56,5 / 1,75	7,75	6,32	2,21	18,79	72,20	5,23	950,87	2,73	348,72	11,07
KARANG + FLY ASH 4%	40 / 60 / 2	7,75	6,34	2,24	18,11	76,15	4,33	908,69	2,83	322,02	10,58

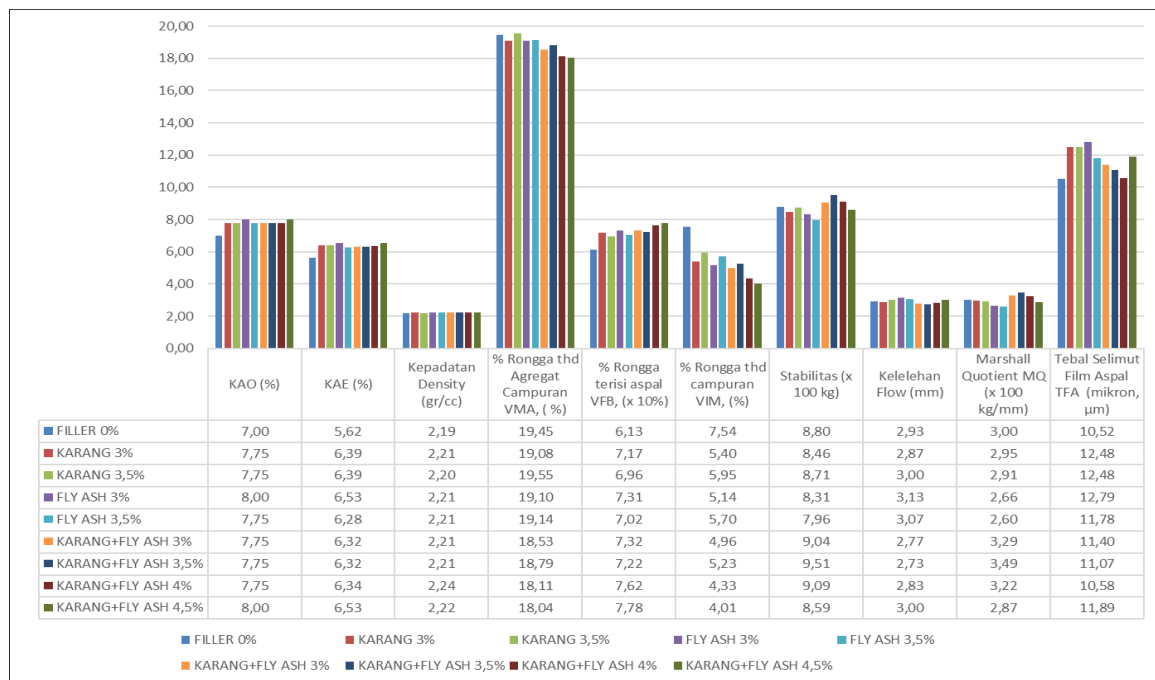
VARIAN KADAR FILLER DALAM CAMPURAN HRS-WC	(%) GRADASI AGREGAT	KA O (%)	KA E (%)	Kepadatan Density (gr/cc)	% Rongga thd Ag. Campuran VMA (%)	% Rongga thd Teria Aspal VFA (%)	% Rongga thd VIM (%)	Stabilitas (kg)	Kelelehan Flow (mm)	Marshall Quotient MQ (kg/cm)	Tebal Selimut Film Asal TFA (mikron μm)
KARANG + FLY ASH 4,5%	40 / 49,5 / 2,5	8,00	6,53	2,22	18,04	77,84	4,01	858,55	3,00	286,64	11,89
KARANG + FLY ASH 5%	35 / 60 / 2,5	7,75	6,34	2,26	17,97	77,32	4,09	850,36	3,13	272,55	10,29

Sumber: Analisa Penelitian tahun 2025

Tabel 2. Rekapitulasi Analisis dan penentuan nilai KAO dan KAE dari hasil pengujian *Marshall* pada HRS-WC dengan tambahan *filler Fly Ash* dan Karang sesuai spesifikasi Bina Marga 2018.

VARIAN KADAR FILLER DALAM CAMPURAN HRS-WC	KA O (%)	KA E (%)	Kepadatan Density (gr/cc)	% Rongga thd Agregat Campuran VMA (%)	% Rongga thd terisi aspal VFA (%)	% Rongga thd campuran VIM (%)	Stabilitas (x100 kg)	Kelelehan Flow (mm)	Marshall Quotient MQ (x100 kg/mm)	Tebal Selimut Film Aspal TFA (mikron μm)
FILLER 0%	7,00	5,62	2,19	19,45	6,13	7,54	8,80	2,93	3,00	10,52
KARANG 3%	7,75	6,39	2,21	19,08	7,17	5,40	8,27	2,87	2,95	12,48
KARANG 3,5%	7,75	6,39	2,20	19,55	6,96	5,95	8,71	3,00	2,91	12,48
FLY ASH 3%	8,00	6,53	2,21	19,10	7,31	5,14	8,31	3,13	2,66	12,79
FLY ASH 3,5%	7,75	6,28	2,21	19,14	7,02	5,70	7,96	3,07	2,60	11,40
KARANG + FLY ASH 3%	7,75	6,32	2,21	18,53	7,32	4,96	9,04	2,77	3,29	11,40
KARANG + FLY ASH 3,5%	7,75	6,32	2,21	18,79	7,22	5,23	9,51	2,73	3,28	11,07
KARANG + FLY ASH 4%	7,75	6,34	2,24	18,11	7,62	4,33	9,09	2,83	3,22	10,58
KARANG + FLY ASH 4,5%	8,00	6,53	2,22	18,04	7,78	4,01	8,59	3,00	2,87	11,89

Sumber: Analisa Penelitian tahun 2025



Sumber: Analisa Penelitian tahun 2025

Gambar 2. Grafik Rekapitulasi Analisis dan penentuan nilai KAO dan KAE dari hasil pengujian *Marshall* pada HRS-WC dengan tambahan *filler Fly Ash* dan Karang sesuai spesifikasi Bina Marga 2018

Analisis Pengaruh penambahan *Fly Ash* PLTU Holtekamp dan Karang Koya sebagai *filler* pada campuran HRS-WC terhadap Karakteristik *Marshall*

Setelah dilakukan pengujian *Marshall*, diketahui bahwa Campuran HRS-WC pada kondisi normal (tanpa filler / filler kadar 0%) dengan penggunaan kadar aspal optimum sebesar 7% , diperoleh hasil yang tidak memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu pada kadar aspal efektif (KAE) sebesar 5,62% (min. 5,90%) dan nilai VFA 61,29% (min. 68%) serta pada nilai VIM 7,54% (rentang 4%-6%).

Dari hasil analisis pengujian *Marshall* terhadap penambahan *Fly Ash* dan Karang sebagai *filler* pada campuran HRS-WC dapat diketahui bahwa pada varian *filler* tertentu akan memiliki pengaruh yang baik terhadap perbaikan kinerja campuran HRS-WC yang ditinjau berdasarkan Karakteristik *Marshall* dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018, hal ini dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2.

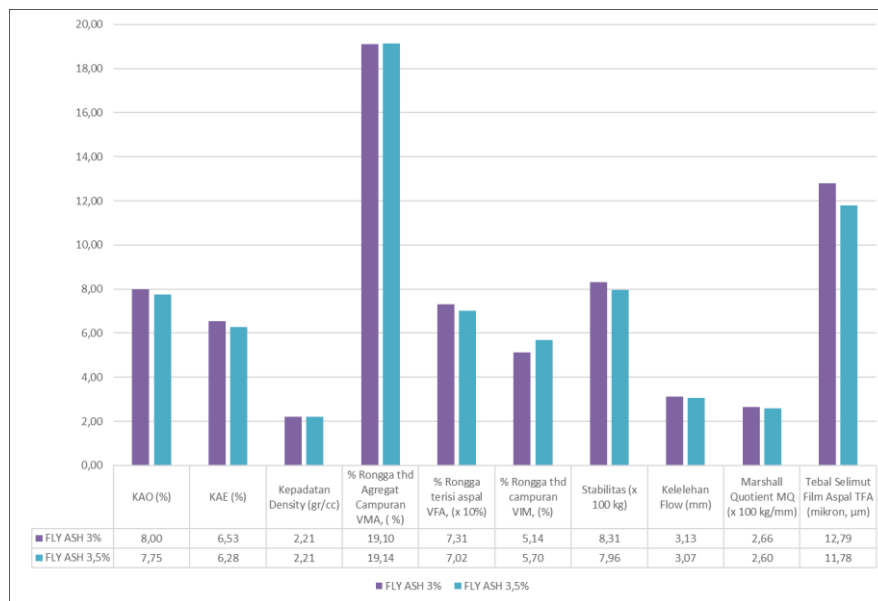
A. Pengaruh Penambahan *Fly Ash* PLTU Holtekamp sebagai *filler* pada campuran HRS-WC

Hasil analisis pengujian *Marshall* terhadap penambahan varian *filler Fly Ash* pada campuran HRS-WC untuk perbaikan kinerja campuran HRS-WC yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 terdapat pada varian substitusi varian *filler Fly Ash* dengan kadar 3% dan 3,5%.

Tabel 3. Analisis Data Pengujian *Marshall* dengan varian *filler Fly Ash* pada campuran HRS-WC yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018.

VARIAN KADAR FILLER DALAM CAMPURAN HRS-WC	KA O (%)	KA E (%)	Kepadatan Density (gr/cc)	% Rongga thd Agregat Campuran VMA (%)	% Rongga thd terisi aspal VFA (%)	% Rongga thd campuran VIM (%)	Stabilitas (x100 kg)	Kelelehan Flow (mm)	Marshall Quotient MQ (x100 kg/mm)	Tebal Selimut Film Aspal TFA (mikron , μm)
FILLER 0%	7,00	5,62	2,19	19,45	6,13	7,54	8,80	2,93	3,00	10,52
KARANG 3%	7,75	6,39	2,21	19,08	7,17	5,40	8,27	2,87	2,95	12,48
KARANG 3,5%	7,75	6,39	2,20	19,55	6,96	5,95	8,71	3,00	2,91	12,48
FLY ASH 3%	8,00	6,53	2,21	19,10	7,31	5,14	8,31	3,13	2,66	12,79
FLY ASH 3,5%	7,75	6,28	2,21	19,14	7,02	5,70	7,96	3,07	2,60	11,40
KARANG + FLY ASH 3%	7,75	6,32	2,21	18,53	7,32	4,96	9,04	2,77	3,29	11,40
KARANG + FLY ASH 3,5%	7,75	6,32	2,21	18,79	7,22	5,23	9,51	2,73	3,28	11,07
KARANG + FLY ASH 4%	7,75	6,34	2,24	18,11	7,62	4,33	9,09	2,83	3,22	10,58
KARANG + FLY ASH 4,5%	8,00	6,53	2,22	18,04	7,78	4,01	8,59	3,00	2,87	11,89

Sumber: Analisa Penelitian tahun 2025



Sumber: Analisa Penelitian tahun 2025

Gambar 3. Grafik Analisis Data Pengujian *Marshall* dengan varian *filler Fly Ash* pada campuran HRS-WC yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018

Dari Tabel 3 dan Gambar 3, terlihat bahwa pada campuran HRS-WC dengan penambahan/peningkatan kadar *filler Fly Ash* menyebabkan :

1. Nilai KAO dan KAE dan TFA menurun;
2. Campuran memiliki rongga yang semakin besar dan renggang;
3. Nilai Stabilitas, *Flow* dan MQ menurun

Hal tersebut dapat terjadi karena penggunaan agregat halus yang lebih banyak pada komposisi gradasi agregat ditambah dengan penambahan *filler Fly Ash* yang digunakan menghasilkan campuran yang kurang rapat (rongga udara tinggi/VIM terlalu besar) dan kekakuannya berkurang sehingga mudah berubah bentuk/rentan mengalami deformasi akibat beban.

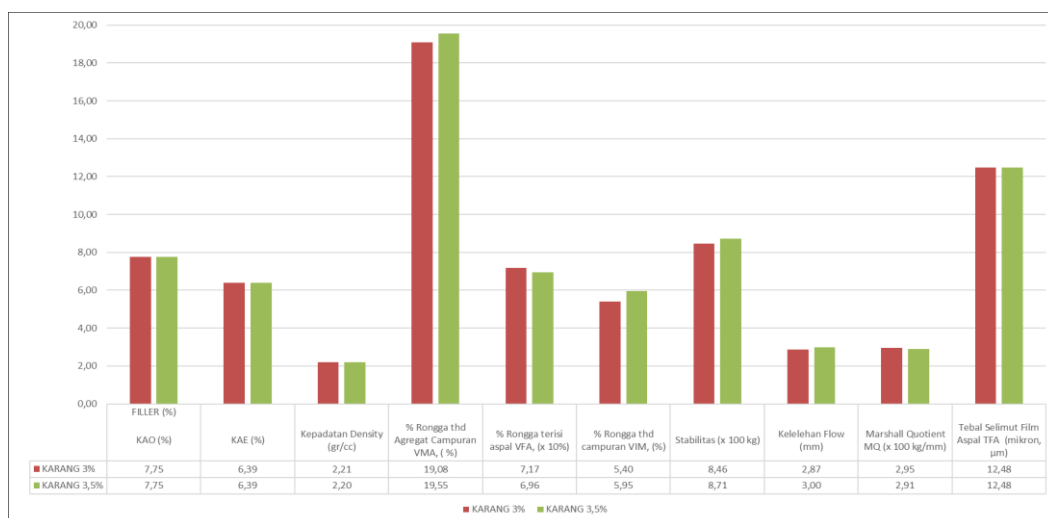
B. Pengaruh Penambahan Karang Koya sebagai *filler* pada campuran HRS-WC

Hasil analisis pengujian *Marshall* terhadap penambahan varian *filler* Karang pada campuran HRS-WC untuk perbaikan kinerja campuran HRS-WC yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 terdapat pada varian substitusi varian *filler* Karang dengan kadar 3% dan 3,5%.

Tabel 4. Analisis Data Pengujian *Marshall* dengan varian *filler* Karang pada campuran HRS-WC yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018.

VARIAN KADAR FILLER DALAM CAMPURAN HRS- WC	(%) GRADASI AGREGAT	KA O (%)	KA E (%)	Kepadatan an Density (gr/cc)	% Rongga thd Agregat Campuran VMA (%)	% Rongga thd terisi aspal VFA (%)	% Rongga thd campuran VIM (%)	Stabilitas (x100 kg)	Kelelahan Flow (mm)	Marshall Quotient MQ (x100 kg/mm)	Tebal Selimut Film Aspal TFA (mikron, µm)
KARANG 3%	40 / 57 / 3 / -	7,75	6,39	2,21	19,08	7,17	5,40	8,46	2,87	2,95	12,48
KARANG 3,5%	40 / 56,5 / 3,5 / -	7,75	6,39	2,20	19,55	6,96	5,95	8,71	3,00	2,91	12,48

Sumber: Analisa Penelitian tahun 2025



Sumber: Analisa Penelitian tahun 2025

Gambar 4. Grafik Analisis Data Pengujian *Marshall* dengan varian *filler* Karang pada campuran HRS-WC yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018

Dari Tabel 4 dan Gambar 4, terlihat bahwa pada campuran HRS-WC dengan penambahan/peningkatan kadar *filler* Karang menyebabkan :

1. Memiliki nilai KAO dan KAE dan TFA yang sama;
2. Campuran memiliki rongga yang semakin besar dan renggang;
3. Nilai Stabilitas dan *Flow* meningkat, sedangkan nilai MQ menurun.

Hal tersebut dapat terjadi karena penambahan *filler* Karang yang digunakan dapat mengurangi rongga dalam campuran (VIM), membuat campuran padat namun plastis (lembek) saat menerima beban, sehingga nilai *flow* naik yang mengakibatkan nilai MQ rendah, meskipun nilai stabilitasnya masih cukup baik.

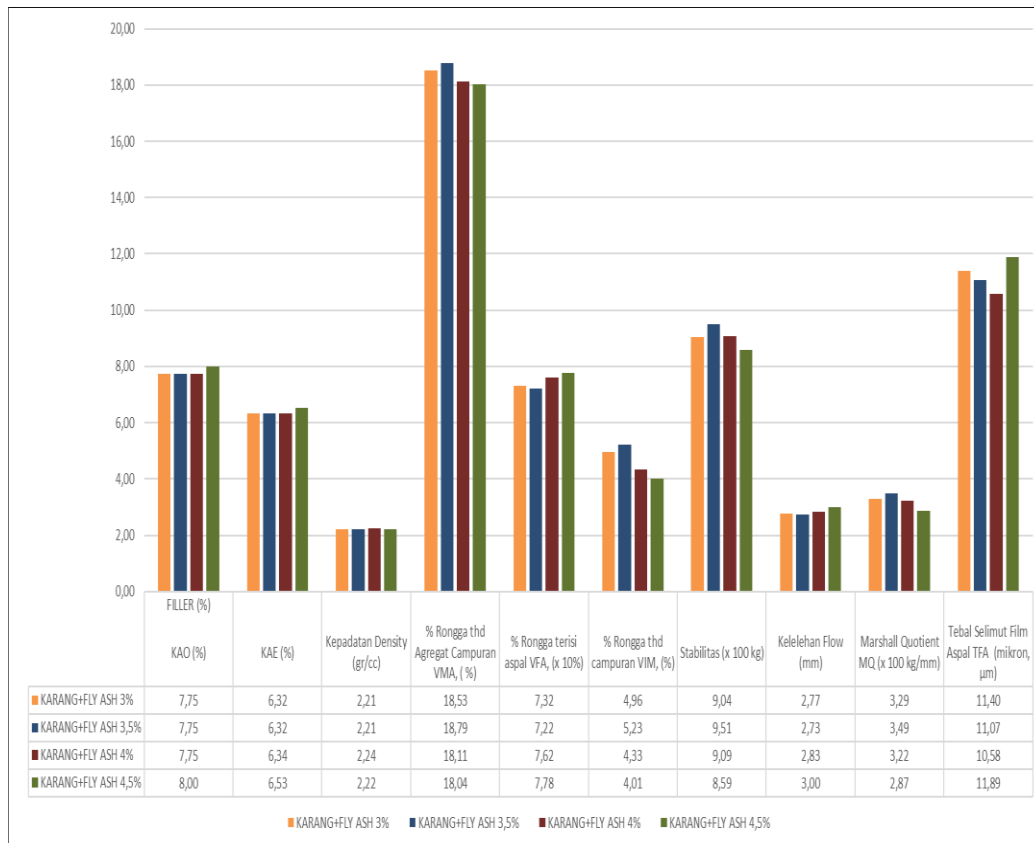
C. Pengaruh Penambahan gabungan/kombinasi *Fly Ash* PLTU Holtekamp dan Karang Koya sebagai *filler* pada campuran HRS-WC

Hasil analisis pengujian *Marshall* terhadap penambahan gabungan/kombinasi varian *filler Fly Ash* dan *filler* Karang pada campuran HRS-WC untuk perbaikan kinerja campuran HRS-WC yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 terdapat pada varian substitusi varian *filler* Karang dengan kadar 3%;3,5%;4% dan 4,5%.

Tabel 5. Analisis Data Pengujian *Marshall* dengan Gabungan/Kombinasi varian *filler Fly Ash* dan *filler* Karang pada campuran HRS-WC yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018.

VARIAN KADAR FILLER DALAM CAMPUR AN HRS- WC	(%) GRADAS I AGREG AT	KA O (%)	KA E (%)	Kepadat an Density (gr/cc)	% Rongga thd Agregat Campur an VMA (%)	% Rongga a thd terisi aspal VFA (%)	% Rongga thd campur an VIM (%)	Stabilit as (x100 kg)	Keleleh an Flow (mm)	Marsh all Quotie nt MQ (x100 kg/mm)	Tebal Selimu t Film Aspal TFA (mikro n, µm)
KARANG + FLY ASH 3%	AG. KASAR 42 / AG. HALUS 55 / FILLER 1,5 / FLY ASH 1,5	7,75	6,32	2,21	18,53	7,32	4,96	9,04	2,77	3,29	11,40
KARANG + FLY ASH 3,5%	40 / 56,5 / 1,75 / 1,75	7,75	6,32	2,21	18,79	7,22	5,23	9,51	2,73	3,49	11,07
KARANG + FLY ASH 4%	36 / 60 / 2 / 2	7,75	6,34	2,24	18,11	7,62	4,33	9,09	2,83	3,22	10,58
KARANG + FLY ASH 4,5%	46 / 49,5 / 2,25 / 2,25	8,00	6,53	2,22	18,04	7,78	4,01	8,59	3,00	2,87	11,89

Sumber: Analisa Penelitian tahun 2025



Sumber: Analisa Penelitian tahun 2025

Gambar 5. Grafik Analisis Data Pengujian *Marshall* dengan Gabungan/Kombinasi varian *filler Fly Ash* dan *filler Karang* pada campuran HRS-WC yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018.

Dari Tabel 5 dan Gambar 5, terlihat bahwa pada campuran HRS-WC dengan penambahan/peningkatan gabungan/kombinasi varian kadar *filler Fly Ash* dan *filler Karang* menyebabkan :

1. Pada varian kadar *filler* 3% dan 3,5% memiliki nilai KAO 7,75% dan KAE 6,32%, sedangkan pada varian kadar *filler* 4% memiliki nilai KAO 7,75% dan KAE 6,34%, dan pada varian kadar *filler* 4,5% memiliki nilai KAO 8% dan KAE 6,53%
2. Campuran memiliki rongga yang cenderung menjadi padat untuk tiap penambahan varian kadar *filler*.
3. Nilai Stabilitas, *Flow* dan MQ bervariasi (padat renggang) untuk tiap penambahan varian kadar *filler*.
4. Pada varian kadar *filler* 3,5% (terdiri dari *filler Fly Ash* 1,75% dan *filler Karang* 1,75%) diperoleh nilai stabilitas optimum sebesar 950,87 kg dan nilai *flow* terendah 2,73 mm dan nilai MQ tertinggi sebesar 348,72 kg/mm.

Hal tersebut diatas dapat terjadi karena penambahan gabungan/kombinasi varian kadar *filler Fly Ash* dan *filler Karang* yang digunakan mempengaruhi rongga dalam campuran menjadi lebih padat menyebabkan rongga dalam campuran (VIM) berkurang serta rongga yang terisi aspal (VFA) cenderung meningkat dan disertai dengan kenaikan nilai *flow* dan menurunnya MQ tetapi nilai stabilitas masih cukup baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis penelitian mengenai pengaruh penambahan material fly ash PLTU Holtekamp dan material karang koya sebagai filler pada campuran aspal panas Lataston (HRS-WC), dapat disimpulkan bahwa pada kondisi normal tanpa filler (kadar 0%) dengan kadar aspal optimum 7,00% diperoleh kadar aspal efektif 5,62%, nilai VFA 61,29%, dan VIM 7,54% yang belum memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Selanjutnya, penambahan material fly ash, karang, maupun kombinasi keduanya sebagai filler terbukti mampu meningkatkan kinerja campuran HRS-WC, yang ditunjukkan oleh hasil karakteristik Marshall pada beberapa variasi kadar filler yang telah memenuhi spesifikasi. Penambahan filler tersebut juga membuat pori-pori campuran lebih terisi sehingga meningkatkan ketahanan terhadap deformasi akibat distribusi beban. Dari berbagai variasi yang diuji, karakteristik Marshall optimum diperoleh pada penggunaan filler kombinasi fly ash dan karang dengan kadar total 3,50% (masing-masing 1,75%), menggunakan kadar aspal optimum 7,75% dan kadar aspal efektif sebesar 6,32%.

REFERENSI

- Akarsh, P. K., Ganesh, G. O., Marathe, S., & Rai, R. (2022). Incorporation of Sugarcane Bagasse Ash to Investigate the Mechanical Behavior of Stone Mastic Asphalt. *Construction and Building Materials*, 353, 129089. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129089>
- Del-Valle-Corte, J., Orosa, P., Pasandín, A. R., & Pérez, I. (2024). Assessing the Impact of Various Industrial Wastes on the Volumetric and Mechanical Properties of Warm Mix Asphalt (WMA). *Case Studies in Construction Materials*, 21, e04073. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04073>
- Djalili, N. (2016). *Alternatif Campuran Beberapa Bahan Jenis Filler Dengan Aspal Panas (Hot Rolled Sheet)*.
- Fakhri, M., Ahmadi, T., Shahryari, E., & Jafari, M. (2023). Evaluation of Fracture Behavior of Stone Mastic Asphalt (SMA) Containing Recycled Materials under Different Loading Modes at Low Temperature. *Construction and Building Materials*, 386, 131566. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131566>
- Hafidzurrakhman, R. (2024). *Perbandingan Kinerja Campuran Perkerasan Antara Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan Fly Ash sebagai Filler*.
- Hamzah, M. O., Golchin, B., & Tye, C. T. (2013). Determination of the Optimum Binder Content of Warm Mix Asphalt Incorporating Rediset Using Response Surface Method. *Construction and Building Materials*, 47, 1328–1336. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.002>
- Hermansyah. (2022). *Meningkatkan Nilai Rongga Stabilitas dan Flow Campuran Aspal HRS-WC dengan Memanfaatkan Sekam Padi*.
- Idayani. (2022). *Pemanfaatan Abu Ampas Tebu sebagai Filler pada Campuran HRS-WC*.
- Iqbal. (2023). *Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap*.
- Lee, S.-Y., Kim, K.-W., Yun, Y., & Le, T. H. M. (2024). Evaluation of Eco-Friendly Asphalt Mixtures Incorporating Waste Plastic Aggregates and Additives: Magnesium, Fly Ash, and Steel Slag. *Case Studies in Construction Materials*, 20, e02756. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02756>
- Mabui, D. S. S., Marsudi, & Suparjo. (2023). *Uji Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal HRS-WC dengan Menggunakan Filler Batu Karang*.
- Marga, B. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 Rev.2*. Kementerian Pekerjaan Umum dan

Perumahan Rakyat.

- Naveed, M., Raza, M. A., & Mehmood, R. (2022). Performance Analyses of Conventional Hot Mix Asphalt with Waste Additives. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00850. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00850>
- Priyanto, D. A., Harsoyo, A., & Nindito, D. P. (2024). Influence of Recycled Rice Husk Ash Filler on the Mechanical Performance of Asphalt Mixtures: A Mortar Scale Analysis. *Construction and Building Materials*, 411, 134381. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134381>
- Qurny, A. U. (2022). Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi (Filler) Fly Ash Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC). *Jurnal Artesis*, 2(1), 87–97.
- Slebi-Acevedo, C. J., Lastra-González, P., & Castro-Fresno, D. (2020). Laboratory Assessment of Porous Asphalt Mixtures Reinforced with Synthetic Fibers. *Construction and Building Materials*, 234, 117224. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117224>
- Styer, J., Tunstall, L., Landis, A., & Grenfell, J. (2024). Innovations in Pavement Design and Engineering: A 2023 Sustainability Review. *Heliyon*, 10(13), e33602. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33602>
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*. Institut Teknologi Nasional.
- Woszuk, A., Bandura, L., & Franus, W. (2019). Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt. *Journal of Cleaner Production*, 235, 493–502. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.353>
- Yuniarti, R., Mahendra, M., Hasyim, Rohani, & Sideman, I. A. O. S. (2023). Pengaruh Kadar Aspal Efektif dan Tebal Selimut Aspal Terhadap Proporsi Rongga pada Campuran Laston. *Jurnal Universitas Mataram*.