

Pemanfaatan *fly ash* batu bara sebagai *filler* pengganti terhadap karakteristik campuran AC-BC dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap

Wisnu Priambodo^{1*}, Miftahul Fauziah¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Asphalt Concrete-Binder
Course
Filler
Fly ash
Staged mixing method

Corresponding Author:

Miftahul Fauziah

Miftahul.fauziah@uii.ac.id

Abstract

The development of road infrastructure has driven innovations in pavement technology, particularly in asphalt mixture techniques and the utilization of alternative materials. One of the emerging innovations is the staged mixing method, which is considered capable of improving the bond between asphalt and aggregates. Meanwhile, the limited availability of stone dust filler has encouraged the use of Class C coal fly ash from the Cilacap power plant as a potential alternative filler. This study aims to compare the effect of Class C fly ash filler substitution on the performance of Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) mixtures using conventional mixing and staged mixing methods, evaluated in terms of volumetric, mechanical, and durability parameters. This research was conducted through laboratory testing, beginning with the evaluation of aggregate and asphalt material properties. The optimum asphalt content was then determined with asphalt content variations of 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, and 7%. The AC-BC mixtures were subsequently tested using Class C fly ash substitution levels of 0%, 25%, 50%, and 75% with both mixing methods. The evaluated parameters included VITM, VMA, VFWA, stability, flow, MQ, ITS, IRS, TSR, and CL. The results indicate that the staged mixing method with Class C fly ash filler substitution provides better AC-BC mixture performance compared to the conventional method. Mixtures produced using the staged mixing method exhibited denser volumetric characteristics, higher mechanical strength, and improved durability against environmental effects and traffic loading.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar Belakang

Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC), yang berfungsi sebagai lapisan pengikat antara lapisan pondasi bawah dan lapisan aus (AC-WC). Campuran AC-BC terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal sebagai bahan pengikat. Salah satu komponen penting dalam campuran ini adalah *filler*, yang berfungsi mengisi rongga antar agregat dan meningkatkan stabilitas campuran. Namun, ketersediaan material alam yang terbatas serta meningkatnya kesadaran terhadap lingkungan mendorong pencarian alternatif *filler* yang lebih berkelanjutan. Salah satu *filler* yang digunakan adalah *fly ash* batu bara. Menurut

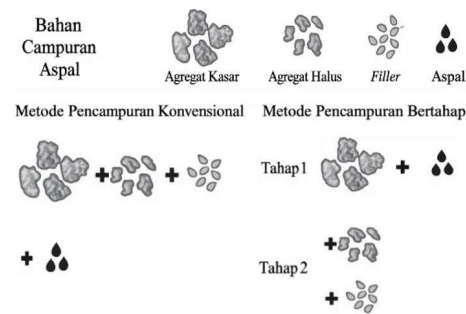
Alvin dkk. (2024), *fly ash* merupakan material yang terbentuk dari hasil pembakaran atau pemanasan material agregat kasar dan halus, yang menyebabkan terbentuknya abu terbang tersebut. Pemanfaatan *fly ash* sebagai *filler* tidak hanya memberikan solusi terhadap masalah limbah industri, tetapi juga dapat meningkatkan performa campuran aspal.

Selain penggunaan bahan tambahan dalam campuran, salah satu upaya untuk meningkatkan performa campuran adalah melalui modifikasi metode pencampurannya. Saat ini, telah dikembangkan suatu teknik baru dalam pencampuran beton aspal yang dikenal dengan metode pencampuran bertahap. Teknik ini bertujuan untuk

meningkatkan mutu campuran beton aspal dengan mengubah urutan pencampuran antara aspal dan agregat. Menurut Kok dan Kuloglu (2011), metode pencampuran bertahap didasarkan pada *precoating* agregat kasar dengan bahan ikat aspal sesuai pada kondisi kadar aspal optimum. Selanjutnya dicampur dengan agregat halus dan *filler*. Tujuannya adalah untuk memperkuat sifat adhesi aspal dengan agregat dan menurunkan kecenderungan pengelupasan agregat yang disebabkan oleh kelembaban.

Selain Kok dan Kuloglu (2011) kajian tentang kinerja metode bertahap pada campuran HRS dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah (2023) dengan penambahan serbuk ban karet, Atthaulah (2024) dengan substitusi *filler* abu bauksit terhadap karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA), Kholid (2025) dengan *filler* abu bauksit terhadap campuran *Stone Matriks Asphalt* (SMA) dengan metode pencampuran bertahap, Khoiruddin (2025) dengan serbuk besi terhadap karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA), Ichwan (2023) perbandingan kinerja campuran AC-BC dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap, Firdaus (2023) tentang perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran dua tahap terhadap kinerja HRA, dan Tolab dan Fauziah (2025) tentang karakteristik campuran *stone matrix asphalt* (SMA) dengan limbah geothermal sebagai substitusi *filler* menggunakan metode pencampuran bertahap.

Pada metode ini, tahapan pencampuran dan *filler* memiliki peran utama dalam keberhasilan metode pencampuran bertahap. Ilustrasi metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Metode Pencampuran
(Sumber: Hesami dkk, 2015)

Penelitian ini memanfaatkan limbah *fly ash* batu bara yang banyak ditemukan di kawasan PLTU Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah yang dianggap sebagai limbah dan pencemaran lingkungan. *Fly ash* kelas C bersifat *self-cementing* karena tingginya kandungan CaO, SiO₂, dan Al₂O₃. Komposisi mineral limbah *fly ash* batu bara ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan kimia *fly ash*

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
<i>Silicon dioxide</i> (SiO ₂) plus <i>aluminium oxide</i> (Al ₂ O ₃) plus <i>iron oxide</i> (Fe ₂ O ₃), min, %	70	70	50
<i>Sulfur trioxide</i> (SO ₃), maks, %	4	5	5
Moisture, maks, %	3	3	3
<i>Loss on ignition</i> (LOI), maks, %	10	6	6

Sumber: ASTM 618-03 (2003)

Metode

Pada pengujian ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 Tahun 2020 Divisi 6. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Pada penelitian ini, metode pencampuran yang digunakan dengan membandingkan dua metode pencampuran yaitu metode pencampuran konvensional dengan metode pencampuran bertahap.

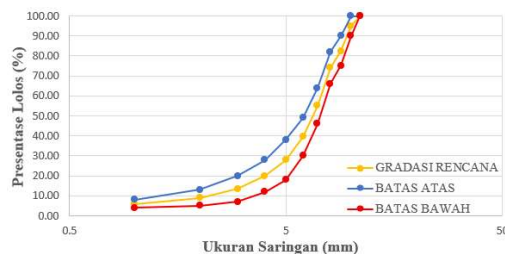
Menentukan gradasi rencana untuk campuran adalah acuan penting bagi perkerasan untuk menghasilkan campuran yang baik dengan keseimbangan antara kekuatan, durabilitas

dan fleksibilitas pada perkerasan. Gradasi rencana untuk campuran AC-BC dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Gradasi rencana campuran ac-bc

Ukuran Saringan	Spesifikasi	Gradasi Rencana			
		Min.	Maks.	Lolos	Tertahan
Inchi (mm)					
1	25	100	100	100	0
3/4	19	90	100	95	5
1/2	12,5	75	90	82,5	17,5
3/8	9,5	66	82	74	26
#4	4,75	46	64	55	45
#8	2,36	30	49	39,5	60,5
#16	1,18	18	38	28	72
#30	0,6	12	28	20	80
#50	0,3	7	20	13,5	86,5
#100	0,15	5	13	9	91
#200	0,075	4	8	6	94
Pan					100

(Sumber: Bina Marga 2018)



Gambar 2. Grafik batasan gradasi agregat campuran AC-BC

Perkiraan Kadar Aspal (Pb) dihasilkan 5,86% dibulatkan menjadi 6%.

Dilihat pada nilai kadar aspal perkiraan (Pb) dirancang kadar aspal sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram.

Pada saat eksperimental laboratorium yang dilakukan oleh Priambodo dan Fauziah (2025). Untuk mencari KAO dilakukan pengujian *Marshall Test* dan IRS. Sedangkan untuk pengujian setelah KAO/pengujian mensubstitusi *filler* dilakukan dengan pengujian *Marshall Test*, IRS, ITS, TSR, dan CL.

Pada pengujian ini dilakukan dengan mensubstitusi *filler* berupa limbah *fly ash* batu bara tipe C dengan variasi kadar substitusi

sebesar 0%, 25%, 50%, dan 75% dengan metode pencampuran konvensional dan bertahap. Hasil pengujian dan penentuan KAO berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Priambodo dan Fauziah (2025).

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian pada karakteristik bahan penyusun campuran AC-BC dapat dilihat pada Tabel 3 hingga Tabel 6.

Tabel 3. Hasil pengujian aspal pen 60/70

Parameter	Spesifikasi	Hasil
Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,051
Penetrasi (mm)	60-70	66,5
Titik Nyata ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 100	168,8
Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	310
Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	290
Daktalitas (cm)	≥ 48	48
Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,51

Tabel 4. Hasil pengujian agregat kasar

Parameter	Spesifikasi	Hasil
Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,61
Penyerapan Air (%)	≤ 3	1,83
Kelekatan (%)	≥ 95	98
Keausan (%)	≤ 40	13,11

Tabel 5. Hasil pengujian agregat halus

Parameter	Spesifikasi	Hasil
Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,53
Penyerapan Air (%)	≤ 3	0,39
Sand Equivalent (%)	≥ 50	93,35

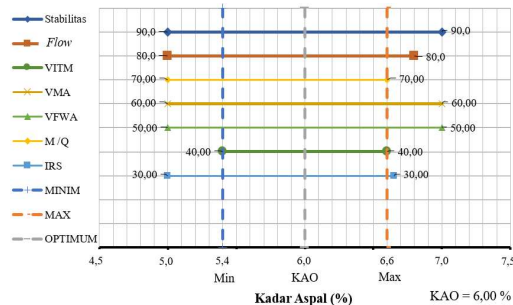
Tabel 6. Hasil pengujian berat jenis *filler*

Parameter	Hasil
Berat jenis <i>filler</i> abu batu	2,55
Berat jenis <i>filler fly ash</i> batu bara tipe C	2,07

Penentuan KAO (Kadar Aspal Optimum)

Pengujian ini dilaksanakan untuk memperoleh nilai KAO pada campuran AC-BC dengan menggunakan aspal Pen 60/70. Hasil pengujian yang diperoleh adalah nilai stabilitas, *flow*, MQ, VITM, VMA, VFVA,

dan IRS. Nilai KAO pada campuran AC-BC didapatkan sebesar 6%. Rekapitulasi KAO dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



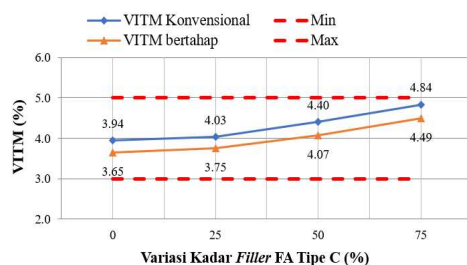
Gambar 3. Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Volumetrik campuran

Pada parameter volumetrik campuran mencakup nilai VITM, VMA, dan VFWA dapat dilihat pada Gambar 4 hingga Gambar 6.

VITM (Void in Total Mix)

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, menunjukkan bahwa nilai VITM pada kedua metode pencampuran mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *filler fly ash* batu bara tipe C.



Gambar 4. Grafik perbandingan metode pencampuran terhadap nilai VITM

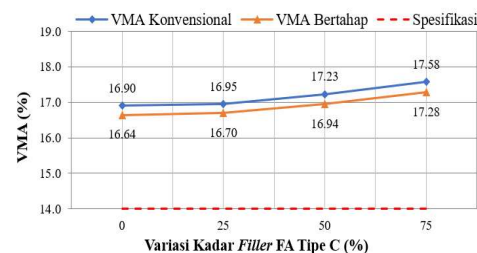
Hal ini menunjukkan bahwa metode konvensional cenderung menghasilkan campuran dengan rongga udara yang lebih besar, sedangkan metode bertahap menghasilkan campuran yang lebih padat dengan VITM yang lebih rendah. Meskipun demikian, seluruh nilai VITM dari kedua metode masih berada dalam rentang Spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu antara 3% hingga 5%. Dengan demikian, kedua metode dapat dikatakan memenuhi persyaratan,

namun metode bertahap menunjukkan kecenderungan memberikan kontrol kepadatan campuran yang lebih baik dibandingkan metode konvensional.

Hal ini sejalan Banafsaj dan Fauziah. (2018), pernah dengan penelitian yang dilakukan oleh melakukan penelitian dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai *filler* abu sekam padi dan menunjukkan nilai VITM semakin besar. Peningkatan nilai VITM terjadi karena *filler* memiliki tekstur permukaan yang kasar dan pori-pori besar, yang mengurangi *workability* campuran. Hal ini menyebabkan pemadatan campuran kurang optimal, sehingga terbentuk void yang lebih besar.

VMA (Void in Mineral Aggregate)

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 hasil pengujian VMA, menunjukkan bahwa nilai VMA pada kedua metode pencampuran konvensional dan bertahap mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar *filler fly ash* tipe C.



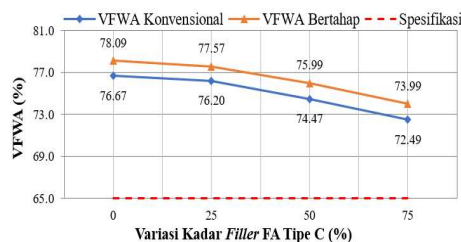
Gambar 5. Grafik perbandingan metode pencampuran terhadap nilai VMA

Perbedaan yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa kedua metode memberikan karakteristik rongga antar mineral agregat yang hampir serupa, meskipun metode konvensional cenderung menghasilkan ruang kosong antar mineral agregat sedikit lebih besar. Semua nilai VMA yang dihasilkan masih berada jauh di atas batas Spesifikasi Bina Marga 2018 minimum sebesar 14%, sehingga kedua metode pencampuran memenuhi persyaratan kinerja. Secara keseluruhan, metode bertahap memberikan hasil yang lebih padat, sementara metode konvensional menghasilkan VMA sedikit lebih besar pada setiap variasi *filler*

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Lizar (2021), pernah melakukan penelitian dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai *filler* dan menunjukkan nilai VMA semakin besar. Peningkatan nilai VMA pada benda uji yang menggunakan *filler fly ash* disebabkan oleh sifat *pozzolan* yang dimiliki material tersebut. Sifat *pozzolan* pada *fly ash* menyebabkan *filler* cenderung menggumpal, sehingga membuat proses pemadatan menjadi lebih sulit dilakukan.

VFWA (Void Filled with Asphalt)

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 hasil pengujian VFWA, menunjukkan bahwa nilai VFWA pada kedua metode pencampuran konvensional dan bertahap cenderung mengalami penurunan seiring meningkatnya kadar variasi *filler fly ash* tipe C.



Gambar 6. Grafik perbandingan metode pencampuran terhadap nilai VFWA

Perbedaan ini mengindikasikan bahwa metode pencampuran bertahap mampu menghasilkan film aspal yang mengisi rongga antar agregat dalam proporsi lebih besar, sehingga memberikan nilai VFWA yang lebih tinggi. Meskipun begitu, seluruh nilai VFWA dari kedua metode masih jauh berada di atas batas Spesifikasi Bina Marga 2018 minimum sebesar 65%, sehingga keduanya memenuhi persyaratan kinerja.

Secara keseluruhan, metode bertahap menunjukkan kemampuan lebih baik dalam mempertahankan volume film aspal di dalam campuran, sementara metode konvensional mengalami penurunan yang lebih besar seiring bertambahnya kadar *filler*.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wenur dkk. (2023) dan Hawari (2021), pernah melakukan penelitian dengan

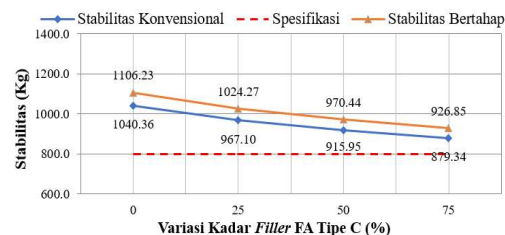
memanfaatkan *fly ash* sebagai *filler* dan menunjukkan nilai VFWA semakin kecil. Nilai VFWA yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya persentase penambahan *fly ash* dalam campuran aspal. Penurunan nilai VFWA ini disebabkan oleh aspal yang menyerap dan melapisi *fly ash*. Akibatnya, proses pemadatan menjadi lebih sulit karena butiran *filler* cenderung menggumpal.

Kekuatan Campuran

Pada parameter kekuatan campuran mencakup nilai Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient*, dan *Indirect Tensile Strength* dapat dilihat pada Gambar 7 hingga Gambar 10.

Stabilitas

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 7 hasil pengujian stabilitas *Marshall*, menunjukkan bahwa nilai stabilitas pada kedua metode pencampuran konvensional dan bertahap mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar variasi *filler fly ash* tipe C.



Gambar 7. Grafik perbandingan metode pencampuran terhadap nilai stabilitas

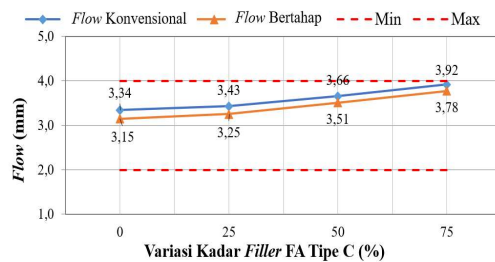
Nilai stabilitas pada kedua metode masih berada di atas batas minimum Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 sebesar 800 kg, sehingga kedua metode memenuhi persyaratan kinerja struktural. Secara keseluruhan, metode pencampuran bertahap terbukti memberikan stabilitas campuran yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa proses pencampuran bertahap mampu meningkatkan ikatan antar agregat dan *filler* sehingga menghasilkan campuran yang lebih kuat dibandingkan metode konvensional.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hafidzurrahkhan dan

Chasanah (2024), pernah melakukan penelitian dengan hasil nilai stabilitas mengalami penurunan pada penggunaan *fly ash* sebagai *filler*. Semakin tinggi nilai stabilitas yang dimiliki oleh campuran, semakin besar kemampuan campuran tersebut untuk menahan deformasi, begitu juga sebaliknya. Penggunaan *fly ash* sebagai *filler* membuat campuran menjadi lebih padat dan kaku, sehingga rentan terhadap terjadinya retak. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian Wenur dkk. (2023), dimana penurunan nilai stabilitas terjadi karena *filler* tidak mampu mengisi rongga yang ada dengan baik karena tidak tercampur merata sehingga nilai stabilitas menjadi turun.

Flow

Berdasarkan grafik pada Gambar 8 hasil pengujian *flow*, menunjukkan bahwa perbandingan nilai *flow* pada kedua metode pencampuran konvensional dan bertahap mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *filler fly ash* tipe C.



Gambar 8. Grafik perbandingan metode pencampuran terhadap nilai *flow*

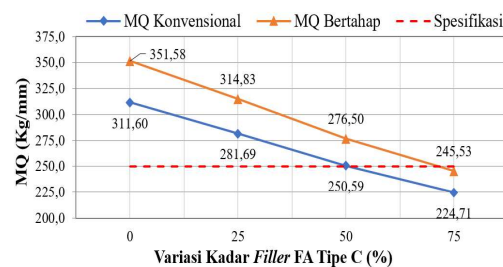
Hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan metode bertahap cenderung memiliki deformasi plastis yang sedikit lebih tinggi akibat struktur campuran yang lebih lentur dibandingkan metode konvensional. Meskipun terdapat peningkatan nilai *flow*, seluruh hasil pada kedua metode tetap berada dalam rentang Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu antara 2 mm hingga 4 mm, sehingga masih memenuhi kriteria Marshall. Secara keseluruhan, metode bertahap menghasilkan nilai *flow* yang lebih besar pada seluruh variasi *filler*, menunjukkan bahwa metode bertahap memberikan campuran yang sedikit lebih fleksibel, sedangkan metode

konvensional menghasilkan nilai *flow* lebih rendah yang mencerminkan sifat campuran yang lebih kaku.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sugeha dkk. (2018), terkait penggunaan *filler* abu batu bara mengalami kenaikan pada setiap penambahan kadar *filler*. Penambahan kadar *filler* membuat campuran kurang mampu menahan beban yang besar. Semakin tinggi mastik dalam campuran mampu menurunkan viskositas, sehingga campuran menjadi lebih plastis dan mengalami deformasi plastis yang lebih besar saat menerima beban.

Marshall Quotient (MQ)

Berdasarkan Grafik pada Gambar 9 hasil perbandingan pada pengujian *Marshall Quotient* (MQ) pada campuran AC-BC memperlihatkan bahwa baik metode pencampuran konvensional maupun bertahap menunjukkan pola penurunan nilai MQ seiring meningkatnya kadar variasi *filler fly ash* batu bara tipe C.



Gambar 9. Grafik perbandingan metode pencampuran terhadap nilai MQ

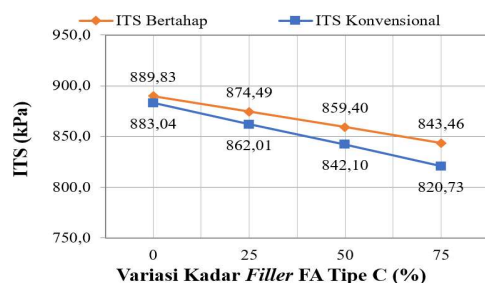
Pada kadar variasi *filler* 75%, kedua metode mengalami penurunan nilai MQ hingga 224,71 kg/mm (konvensional) dan 245,53 kg/mm (bertahap), sehingga tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu minimum 250 kg/mm. Nilai ini turun dibandingkan kadar *filler* sebelumnya. Alasan utama tidak memenuhi nilai pada spesifikasi adalah bahwa kadar variasi *filler* yang terlalu tinggi menyebabkan peningkatan kadar material halus yang berlebihan, sehingga mengurangi kekuatan struktur campuran. *Fly ash* dalam jumlah banyak cenderung menurunkan kekakuan dan stabilitas karena

menurunkan kemampuan agregat untuk saling mengunci. Selain itu, peningkatan *filler* dapat menyebabkan penyerapan aspal lebih besar, sehingga mengurangi lapisan aspal yang efektif dalam mengikat agregat. Akibatnya, campuran menjadi lebih rapuh dan tidak mampu menahan beban, sehingga nilai MQ berada di bawah standar. Dengan demikian, meskipun metode pencampuran bertahap sedikit lebih baik dibandingkan metode konvensional, perbedaan tersebut tidak cukup signifikan untuk mengimbangi dampak negatif dari penggunaan *filler fly ash* batu bara tipe C yang terlalu tinggi, yang pada akhirnya membuat campuran tidak memenuhi spesifikasi teknis.

Menurut Wahyuningsih (2007), penurunan nilai MQ terjadi karena diperoleh dari perbandingan antara stabilitas dengan *flow*. Hal tersebut disebabkan karena *fly ash* memiliki sifat kedap air, maka berpotensi membuat film aspal menjadi tebal. Berdasarkan hal tersebut, nilai stabilitas menurun.

Indirect Tensile Strength (ITS)

Pada Gambar 10 menunjukkan bahwa peningkatan kadar *fly ash* menyebabkan penurunan nilai ITS. Namun, metode pencampuran bertahap terbukti memberikan nilai ITS yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, menandakan bahwa metode bertahap lebih efektif dalam mempertahankan kekuatan tarik tidak langsung campuran AC-BC meskipun terjadi penambahan variasi *filler* dan pengaruh air.



Gambar 10. Grafik perbandingan metode pencampuran terhadap nilai ITS

Pada hasil nilai ITS tersebut sejalan dengan penelitian Sukmo dan Chasanah (2023), tentang penelitian penggunaan *filler* bubuk *talk*. Nilai tersebut menunjukkan penurunan pada grafik ITS karena kurangnya ketahanan kuat tarik pada campuran karena penambahan kadar *filler* yang terlalu tinggi walaupun mengalami kenaikan sampai kadar 50%. Nilai tersebut terjadi karena banyaknya *filler* yang masuk mengakibatkan kuat tarik semakin berkurang dan berpotensi membuat retakan akan lebih tinggi. Penurunan disebabkan karena aspal tidak menyelimuti agregat secara menyeluruh dan rongga lebih banyak diisi oleh *filler*.

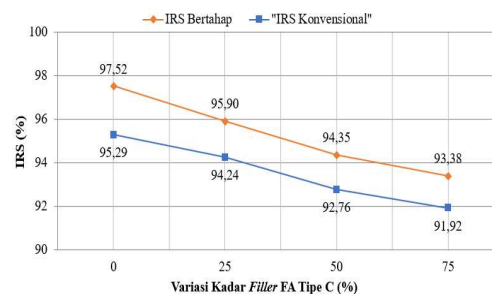
Durabilitas campuran

Pada parameter durabilitas campuran mencakup nilai *Index of Retained Strength*, *Tensile Strength Ratio*, dan *Cantabro Loss* dapat dilihat pada Gambar 11 hingga Gambar 13 berikut.

Index of Retained Strength (IRS)

Nilai *Index of Retained Strength* (IRS) merupakan nilai yang didapatkan dari Perbandingan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam dalam *waterbath* dengan suhu 60°C dengan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 0,5 jam dalam *waterbath* dengan suhu 60°C.

Grafik perbandingan pada Gambar 11 metode pencampuran bertahap secara konsisten menghasilkan nilai IRS yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional pada seluruh variasi kadar *filler fly ash* tipe C.

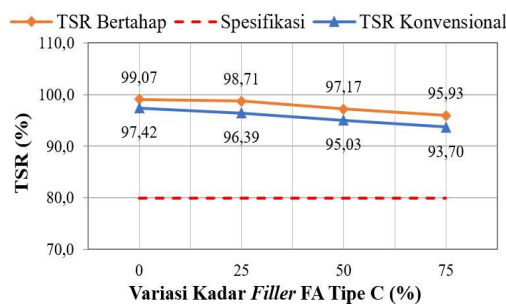


Gambar 11. Grafik perbandingan metode pencampuran terhadap nilai IRS

Dengan nilai IRS yang lebih tinggi, metode bertahap menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan akibat air dibandingkan dengan metode konvensional. Hasil ini sesuai dengan penelitian Nugroho (2018) terkait pengaruh penggunaan *filler* abu ampas tebu terhadap nilai IRS. Nilai IRS yang turun menandakan bahwa kemampuan campuran dalam menahan cuaca, air, dan suhu akan semakin berkurang. Penurunan tersebut sejalan dengan hasil nilai VMA, dimana rongga pada campuran tergolong tinggi akibat semakin banyaknya kadar *filler* yang masuk.

Tensile Strength Ratio (TSR)

Berdasarkan Gambar 12 terjadi penurunan nilai TSR pada metode bertahap daripada metode konvensional. Hal ini disebabkan pada metode bertahap kurang nya nilai indeks penetrasi sehingga menyebabkan nilai pada metode bertahap campuran AC-BC lebih rendah daripada metode bertahap. Hal ini disampaikan oleh Iqbal dan Fauziah (2023) dimana pada saat penambahan serbuk ban karet dengan kadar 2% mengalami peningkatan namun terjadi penurunan pada nilai TSR pada kadar ban karet 4% dan 6%. Sehingga penyebab penurunan nya nilai TSR pada metode bertahap dapat disimpulkan bahwa terjadi nya penurunan nilai indeks penetrasi pada campuran sehingga menyebabkan campuran dengan metode bertahap rentan terhadap perubahan suhu.



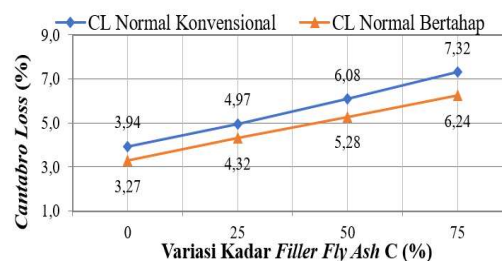
Gambar 12. Grafik perbandingan metode pencampuran terhadap nilai TSR

Tajudin dkk. (2017) pernah melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan limbah plastik sebagai *filler* terhadap nilai

TSR. Nilai TSR akan terus berkurang seiring dengan meningkatnya durasi perendaman. Hal ini terjadi karena air menyebabkan ikatan antara agregat dan aspal melemah, sehingga kekuatan tariknya menurun.

Cantabro Loss (CL)

Berdasarkan Gambar 13 grafik perbandingan menunjukkan hasil pengujian *Cantabro Loss* (CL) pada campuran aspal beton (AC-BC) dengan variasi kadar *filler fly ash* C pada dua metode pencampuran yang berbeda, yaitu metode konvensional dan bertahap. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai *cantabro loss* pada metode pencampuran konvensional cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kadar *filler fly ash* tipe C.



Gambar 13. Grafik perbandingan metode pencampuran terhadap nilai CL

Perbandingan antara kedua metode ini menunjukkan bahwa pencampuran bertahap menghasilkan penurunan nilai CL yang lebih stabil dan lebih rendah dibandingkan dengan metode konvensional pada seluruh variasi kadar *filler fly ash* batu bara tipe C. Hal ini menunjukkan bahwa metode pencampuran bertahap bagus dalam mempertahankan kualitas campuran aspal beton dengan kandungan *filler fly ash* yang lebih tinggi, sehingga potensi kerusakan atau kehilangan material pada campuran tersebut lebih kecil.

Hasil ini sesuai dengan penelitian Kushari dan Hidayat (2021), bahwa penggunaan *filler* dengan abu ampas tebu dapat memperoleh hasil untuk nilai CL mengalami kenaikan. Abu ampas tebu yang memiliki daya serap tinggi, ketika digunakan dalam jumlah berlebih mampu menyebabkan peningkatan penyerapan aspal, sehingga campuran agregat

tidak dapat terikat dengan baik. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa metode pencampuran bertahap menghasilkan kinerja volumetrik, kekuatan, dan durabilitas campuran AC-BC yang lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional pada kadar 0%, 25%, dan 50% substitusi *filler* limbah *fly ash* batu bara tipe C.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvin, M., Jusmidah, J., & Fathussalam, A. (2024). Pemanfaatan Fly Ash Amp PT. Piranti Jagad Raya Sebagai Filler Perkerasan AC-BC. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 24(1), 130-139. <https://doi.org/10.35965/eco.v24i1.4194>
- Atthaulah, M. N. (2024). *Pengaruh Substitusi Filler Abu Bauksit Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt (HRA) dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. dspace.uui.ac.id/123456789/54121.
- ASTM, C. (2003). 618-03. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete. In *American Society for Testing and Materials*.
- Aviv, A.M., Hasan, M.W., dan Ayu, E.S. (2023). *Pengaruh Substitusi Limbah Bata Merah dan Fly Ash Sebagai Filler Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)*. (Diploma Thesis, Universitas Bung Hatta Padang). <http://repo.bunghatta.ac.id/id/eprint/12725>.
- Chasanah, F., & Sukmo, T. A. (2023). Pengaruh Bubuk Talk Sebagai Bahan Filler Pengganti Pada Campuran Ac-Wc: Indonesia. *AJIE (Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship)*, 82-90. <https://doi.org/10.20885/ajie.vol7.iss3.art2>.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum. Edisi 2018 (Rev. 2)*. Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Firdaus, M. (2023). *Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kinerja Hot Rolled Asphalt (HRA)*. Tugas akhir. Universitas Islam Indonesia. dspace.uui.ac.id/123456789/46327
- 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*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. dspace.uui.ac.id/123456789/49407
- Hesami, E., Birgisson, B., & Kringos, N. (2015). Effect of mixing sequence on the workability and performance of asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 16(sup2), 197-213. <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1077008>.
- Hidayat, M. I. (2021). Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt dengan Bahan Ikatan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Crumb Rubber. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/30072>
- Ichwan, M. (2023). *Perbandingan Kinerja Campuran AC-BC dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. dspace.uui.ac.id/123456789/48344
- Iqbal, I., & Fauziah, M. (2023). Experimental study of the use of waste rubber tire additives using the sequential mixing method on the performance of Hot-Rolled Sheet-Wearing Course mixtures. *TEKNIK*, 44(2), 167-175. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/view/57565>.
- Khoiruddin, H.A. (2025). *Pengaruh Substitusi Serbuk Besi Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt (HRA) dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. dspace.uui.ac.id/123456789/55620
- Kholid, I. (2025). *Pengaruh Substitusi Filler Abu Bauksit Terhadap Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) dengan Metode Pencampuran Bertahap*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. dspace.uui.ac.id/123456789/55575
- Kok, B. V., & Kuloglu, N. (2011). Effects of two-phase mixing method on mechanical properties of hot mix asphalt. *Road Materials and Pavement Design*, 12(4), 721-738. <https://doi.org/10.1080/14680629.2011.9713892>
- Hawari, F., & Lizar, L. (2021). Analisis Pengaruh Penggantian Filler Abu Sawit Fly Ash Dan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Perkerasan Lentur (Ac-Wc). *Jurnal TeKLA*, 3(1), 1-6.
- Nugroho, A. (2018). *Perbandingan Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt (HRA) Berbahan Ikatan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-55 dengan Substitusi Filler Abu Ampas Tebu*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/8030>
- Tajudin, A. N., & Suparma, L. B. (2017). Pengaruh Rendaman pada Indirect Tensile Strength Campuran AC-BC dengan Limbah Plastik sebagai Agregat Pengganti. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(2), 166-173. <https://doi.org/10.14710/mkts.v23i2.16128>

- Tolab, L. Z. (2025). *Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) dengan Limbah Geothermal Sebagai Substitusi Filler menggunakan Metode Pencampuran Bertahap*. Thesis. Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uui.ac.id/123456789/56740>
- Wahyuningsih, L. (2007). Komparasi Penggunaan Filler Fly Ash (Abu Terbang Batu Bara), Filler Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash), dan Filler Abu Batu pada Kinerja Lapis Aspal Beton (LASTON). <https://dspace.uui.ac.id/123456789/26359>
- Wenur, K. R., Palenewen, S. C. N., & Waani, J. E. (2023). Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Filler Fly Ash Batu Bara Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Laston Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC). *TEKNO*, 21(85), 805-814. <https://doi.org/10.35793/jts.v21i85.49249>
- Yaro, N. S. A., Napiah, M. B., Sutanto, M. H., Usman, A., & Saeed, S. M. (2021). Performance evaluation of waste palm oil fiber reinforced stone matrix asphalt mixtures using traditional and sequential mixing processes. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00783. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00783>