

## Pemanfaatan *Fly Ash* sebagai *Filler* Campuran *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) pada Pembuatan Daur Ulang *Asphalt Concrete - Wearing Course* (AC-WC)

Sulaiman AR\*, Kurniati, Farah Zhuha

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B. Aceh Medan Km. 280 Bukit Rata 24301 Indonesia

\*E-mail: sulaiman.ar@pnl.ac.id

### Abstract

---

**Article history:**

Received: 20-04-2025

Accepted: 22-06-2025

Published: 21-07-2025

**Keywords:**

asphalt concrete;

filler;

fly ash;

reclaimed asphalt pavement;

wearing course.

*Reclaimed Asphalt Pavement* is a waste from dredging pavement that has been damaged due to the expiration of its planned life or excessive traffic loads. The demolition material comes from Medan - Banda Aceh road, Besitang, North Sumatra, demolished using Cold Milling Machine. Research was conducted to handle Reclaimed Asphalt Pavement using the recycling method. The research used Reclaimed Asphalt Pavement by adding fly ash as filler to determine the mixture characteristics and Marshall parameter values as recycled Asphalt Concrete - Wearing Course mixture. The research method follows the general standard specifications applicable to Asphalt Concrete - Wearing Course. The extraction results obtained the asphalt content in Reclaimed Asphalt Pavement of 4.75% with aggregate gradation according to specifications. The Optimum Asphalt Content used was 5.9. The total weight of filler is 7.87%, fly ash as a substitute material for filler with a percentage of fly ash addition of 0%, 4%, 6%, 7% and 8% of the total weight of filler. In the 0%, 4%, 6%, 7% and 8% fly ash mixture, the values of stability, flow, Marshall Quotient, Void In Mineral Aggregate, and Void Filled with Bitumen meet the required specifications. While the Void In Mix value is greater than required.

---

### 1. Pendahuluan

Perkerasan jalan berpengaruh dalam perkembangan prasarana jalan raya, kemajuan teknologi pembangunan perkerasan jalan mengalami perkembangan dan banyak inovasi metode perkerasan jalan yang mampu menghasilkan kualitas sesuai standar. Seperti menggunakan material perkerasan jalan yang sudah rusak/limbah aspal lama, salah satunya metode penggunaan aspal daur ulang yang sering disebut *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP).

*Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) material hasil bongkaran lapis perkerasan jalan yang telah rusak atau habis umur rencana atau beban berlebih, pembongkarannya menggunakan alat *Cold Milling Machine*. RAP mulai digunakan dengan cara melapisinya kembali dengan bahan tambah sebagai pengikat untuk membuat bahan aspal baru [1, 2]. Awalnya bahan RAP diolah secara panas (*hot mix*), dengan berkembangnya teknologi, pengolahan bahan RAP dapat dilakukan secara dingin (*cold mix*) [3, 4]. Metode daur ulang dapat penggunaan kembali material aspal hasil bongkaran dengan menambahkan kadar aspal yang kurang dari hasil ekstraksi material aspal untuk campuran laston.

*Filler* mempunyai fungsi sebagai pengisi antara partikel agregat yang lebih kasar, mengurangi rongga udara, meningkatkan kepadatan, dan mengurangi permeabilitas campuran aspal[5]. Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018, terdapat dua jenis *filler* yaitu kimia aktif dan kimia tidak aktif. Bahan pengisi kimia aktif seperti *Portland cement* (disarankan menggunakan semen tipe I, *Ordinary Portland Cement* atau OPC), kapur terhidrasi, dan amonium, sulfat, yang digunakan untuk meningkatkan kelecakan (*workability*), mengatur waktu pengikatan (*setting time*). Bahan pengisi kimia tidak aktif seperti debu kapur, abu terbang (*fly-ash*), dan abu batu, terutama digunakan untuk memperbaiki gradasi agregat campuran [6, 7].

*Fly ash* memiliki kandungan silika sekitar 46,7% sehingga mampu meningkatkan parameter - parameter yang terdapat pada campuran beraspal panas [8, 9]. Penelitian ini menggunakan *fly ash* (abu terbang) yang berasal dari Pangkalan Susu sebagai *filler* pada campuran daur ulang AC - WC. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya untuk melihat karakteristik campuran pada penambahan *filler fly ash* terhadap material *Reclaimed Asphalt Pavement*.

Kajian dilakukan untuk meneliti pengaruh *filler fly ash* terhadap stabilitas, *flow*, VFA, *Void in Mix (VIM)*, *Void in Mineral Agregate (VMA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)* pada campuran material *Reclaimed Asphalt Pavement* sebagai daur ulang AC-WC. Persentase *fly ash* yang digunakan 0%, 4%, 6%, 7%, dan 8% dari total *filler*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis hasil penggunaan material RAP dengan *filler fly ash* sebagai bahan daur ulang aspal AC-WC dan menganalisis pengaruh *filler fly ash* terhadap stabilitas, *flow*, VFA, VIM, VMA, dan MQ.

Manfaat penelitian ini yaitu sebagai peremajaan campuran lapisan AC-WC dari material RAP sehingga dapat meminimalisir limbah, dapat meminimalisir dampak kerusakan lingkungan akibat *fly ash*, dan mengurangi penggunaan material alam dalam pembuatan lapis perkerasan jalan.

## 2. Metode

Penelitian dilakukan untuk menangani *Reclaimed Asphalt Pavement* dengan metode daur ulang (*recycling*). Yaitu dengan melakukan pengujian ekstraksi untuk memeriksa kadar aspal dalam material RAP, tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan kadar aspal optimum yang memberikan daya dukung dan elastisitas yang sesuai untuk perkerasan jalan [10]. Selanjutnya melakukan pengujian analisa saringan untuk mengetahui apakah agregat hasil ekstraksi tersebut sesuai dengan spesifikasi gradasi AC-WC. Gradasi agregat dapat dikatakan sangat mempengaruhi pada campuran beraspal karena gradasi agregat berfungsi memberikan kekuatan yang pada akhirnya mempengaruhi stabilitas dalam campuran, dengan kondisi saling mengunci (*interlocking*) dari masing-masing partikel agregat kasar [11].

Kemudian dilakukan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat yang telah di ekstraksi untuk mengetahui apakah agregat tersebut sesuai spesifikasi atau tidak. Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan dengan cara pendekatan pada *Job Mix Formula (JMF)* AC-WC di PT. Pirimbilo Permai yaitu sebesar 5,9%. Nilai kadar aspal yang didapatkan dari pengujian ekstraksi rata-rata sebesar 4,75% sehingga perlu ditambahkan kadar aspal sebanyak 1,15%. Kemudian dilanjutkan pembuatan benda uji dengan variasi *fly ash* 0%, 4%, 6%, 7%, dan 8% dari total *filler* sebanyak 3 benda uji per variasi, dan selanjutnya dilakukan pengujian *marshall*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

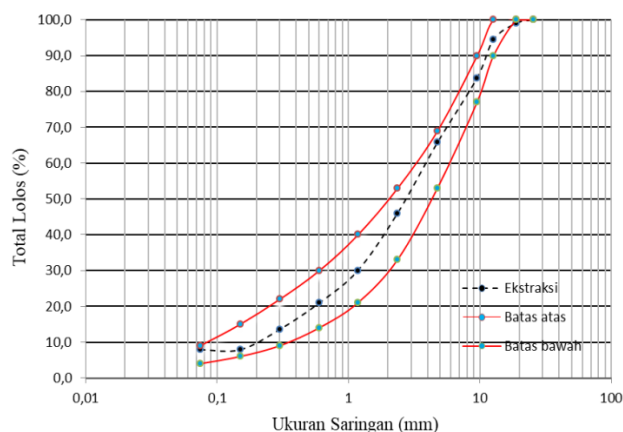
Hasil penelitian diperoleh data ekstraksi, analisa saringan, sifat fisis agregat, dan nilai parameter marshall pada campuran RAP dengan menggunakan *fly ash* sebagai *filler*.

### 3.1 Hasil Pengujian Ekstraksi Material Reclaimed Asphalt Pavement

Ekstraksi bertujuan memisahkan agregat dan aspal dari bongkaran laston dengan menggunakan pelarut *pertalite* untuk memisahkan aspal dan agregat yang ada dalam campuran tersebut. Pengujian ekstraksi dilakukan untuk mengetahui kandungan aspal yang ada dalam bongkaran laston. Hasil rata-rata pengujian ekstraksi dari 6 sampel diperlihatkan pada Tabel 1, dan hasil rata-rata pengujian analisa saringan ekstraksi diperlihatkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Hasil rata-rata pengujian ekstraksi

No	Hasil Ekstraksi	Nilai Rata - Rata
1	Berat campuran bongkaran (gr)	1197,6
2	Berat kertas filter sebelum ekstraksi (gr)	15,2
3	Berat kertas filter setelah ekstraksi (gr)	17,6
4	Berat dust (gr)	2,39
5	Berat agregat setelah ekstraksi (gr)	1138,7
6	Berat total agregat (gr)	1139,1
7	Berat yang hilang (gr)	58,5
8	Aspal berdasarkan agregat (%)	5,14
9	Aspal berdasarkan campuran (%)	4,75



Gambar 1. Gradasi ekstraksi

Gradasi agregat sangat mempengaruhi campuran beraspal panas karena gradasi agregat berfungsi memberikan kekuatan yang pada akhirnya mempengaruhi stabilitas dalam campuran, dengan kondisi saling mengunci (*interlocking*) dari masing-masing partikel

agregat kasar [12]. Pada Gambar 1 terlihat bahwa hasil analisa saringan ekstraksi memenuhi spesifikasi AC - WC, sehingga tidak perlu adanya penambahan agregat baru pada bahan RAP.

### 3.2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Agregat juga merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan, yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran dengan material lain [13].

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan pada sampel ekstraksi yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pemeriksaan penyerapan dan berat jenis ekstraksi

No	Jenis Agregat	Penyerapan		Berat Jenis	
		Hasil	Spesifikasi	Hasil	Spesifikasi
1	Tertahan 3/8	0,67	< 3% Berat	2,62	≥ 2,50
2	Lolos 3/8	0,44	< 3% Berat	2,68	≥ 2,50
3	Tertahan #8	0,72	< 3% Berat	2,69	≥ 2,50
4	Lolos 8#	3,26	< 3% Berat	1,83	≥ 2,50

#### 3.2.1 Hasil Pengujian Marshall pada Benda Uji Variasi

Pengujian *marshall* dilakukan untuk melihat nilai dari parameter *marshall* berupa Stabilitas, *Flow*, VFB, dan *Marshall Quoetion*. Sedangkan VIM dan VMA merupakan parameter campuran. Benda uji dibuat dengan kadar aspal 5,9% sebanyak 3 buah setiap variasi *Fly Ash* (4%, 6%, 7%, dan 8%). Pengujian dilaksanakan setelah benda uji direndam dengan air biasa selama 24 jam. Hasil pengujian *marshall* dapat dilihat pada Tabel 3.

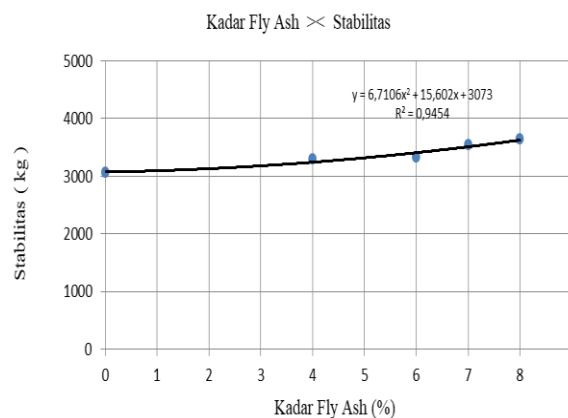
Tabel 3. Hasil pengujian *marshall* pada benda uji variasi

No	Parameter Marshall	Variasi Fly Ash					Spesifikasi Bina Marga 2018
		0%	4%	6%	7%	8%	
1	Stabilitas (Kg)	3065	3296	3323	3536	3643	Min. 1000
2	Flow (mm)	3,3	3,3	2,8	2,7	2,4	2 - 4
3	VIM (%)	11,73	11,55	11,21	10,92	10,38	3 - 5
4	VMA (%)	22,62	22,16	21,86	21,60	21,13	Min. 15%
5	VFB (%)	65,65	66,30	66,94	67,48	68,50	Min. 65%
6	MQ (Kg/mm)	937,31	1097,4	1214,3	1315,45	1518,59	>250 Kg/mm

#### 3.2.2 Pembahasan Parameter Marshall pada Variasi Filler Fly Ash

##### 1) Stabilitas

Nilai stabilitas dengan *fly ash* sebagai *filler* pada rancangan campuran RAP sebagai daur ulang AC-WC mengalami kenaikan seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Semakin besar setiap persentase *fly ash*, semakin besar nilai stabilitasnya. Pada pengujian mengetahui bahwa penambahan *fly ash* sebagai *filler* pada campuran RAP mempengaruhi nilai stabilitas. Naiknya nilai stabilitas disebabkan oleh meningkatnya kerapatan campuran *fly ash* yang mengisi rongga-rongga pada campuran sehingga meningkatkan hubungan antar agregat saling mengunci.

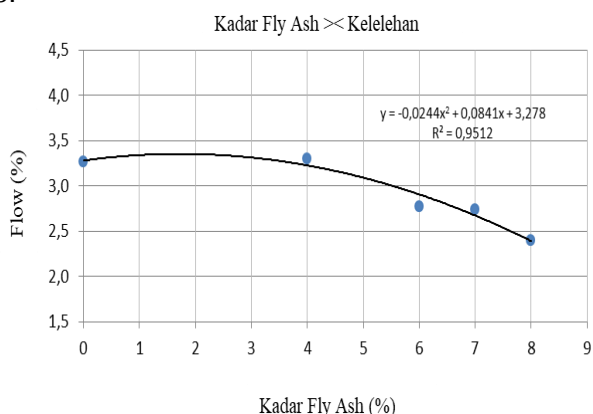


Gambar 2. Hubungan kadar *fly ash* dengan stabilitas

Berdasarkan persyaatan umum Bina Marga untuk nilai stabilitas aspal modifikasi yaitu minimal 1000 Kg, sehingga dari campuran – campuran variasi tersebut memenuhi syarat minimal untuk stabilitas.

### 2) Kelelehan (Flow)

Nilai kelelehan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain gradasi, kadar aspal, bentuk dan permukaan agregat [14]. Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai *flow* mengalami penurunan, *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal di komposisi agregat, semakin banyak bahan pengisi (*filler*) semakin banyak kadar aspal yang perlukan. Nilai tertinggi *flow* dengan menggunakan persentase *fly ash* sebagai *filler* dalam campuran RAP sebagai daur ulang pada rancangan campuran AC-WC berdasarkan persentase regresi grafik berada pada kadar persentase 2%, *flow* terendah pada kadar *fly ash* 8%. Nilai kelelehan berdasarkan grafik Gambar 3.

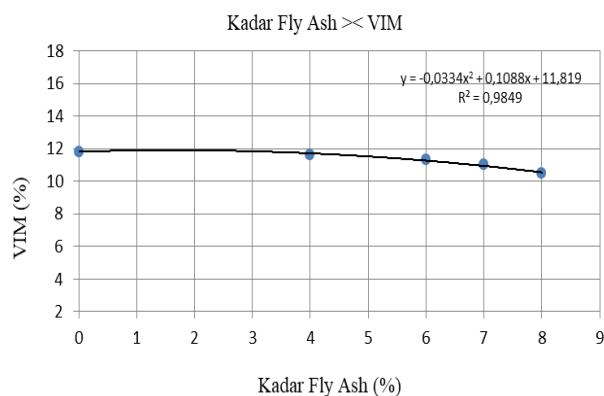


Gambar 3. Hubungan kadar *fly ash* dan kelelehan (*Flow*)

Dari 0% sampai dengan 3% terjadi peningkatan nilai *flow*, sedangkan kadar *fly ash* dari 4% terus menurun sampai 8%. *Fly ash* memiliki sifat yang dapat mengurangi kelelehan (*flow*) campuran aspal beton. *Fly ash* adalah bahan yang dapat menahan air dan mengurangi kelelehan, sehingga campuran menjadi lebih kaku dan memiliki nilai kelelehan yang lebih rendah. Suatu campuran dengan nilai kelelehan (*Flow*) tinggi akan cenderung lembek, sehingga mudah berubah bentuk jika menerima beban. Sedangkan jika kelelehan (*Flow*) rendah maka campuran akan menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban berlebih [15].

### 3) Void in Mix (VIM)

Nilai VIM pada penambahan *fly ash* pada bahan RAP sebagai daur ulang AC-WC dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, menunjukkan penambahan *fly ash* dari 0% sampai 3% tidak berpengaruh terhadap nilai VIM. Sedangkan penambahan *fly ash* dari 4% sampai 8% terjadi penurunan terhadap nilai VIM. Sehingga menunjukkan penambahan *filler fly ash* dapat memperkecil rongga dalam campuran. Pada variasi 8% nilai VIM semakin menurun, *fly ash* dapat mengakibatkan campuran menjadi rapat sehingga air dan udara sulit memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal tereduksi. Nilai VIM tertinggi terdapat pada variasi 0%. Besarnya nilai VIM pada pengujian ini dikarenakan aspal yang terkandung dalam bongkaran sudah menurun kekuatan pengikatnya, sehingga persentase rongga udara pada benda uji besar. Namun demikian penambahan *fly ash* dari persentase 4% sampai 8% tidak memenuhi syarat spesifikasi yaitu 3%-5%.



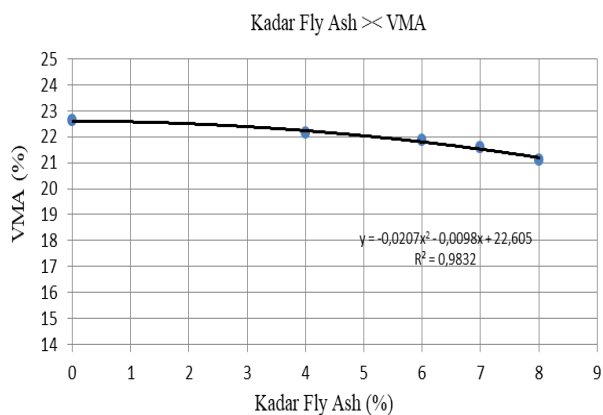
Gambar 4. Hubungan kadar *fly ash* dengan Void in Mix (VIM)

### 4) Void in Mineral Agregate (VMA)

Nilai VMA pada campuran daur ulang AC-WC seperti diperlihatkan pada Gambar 5 mengalami penurunan pada saat penambahan *fly ash* dari 0% sampai 8%. Nilai VMA tertinggi diperoleh pada kadar *fly ash* 0% dengan nilai VMA 22,60% dan terendah terdapat pada kadar *fly ash* 8% dengan nilai VMA 21,13%.

Dari hasil analisis, semakin bertambahnya kadar *fly ash* yang digunakan maka nilai VMA akan semakin menurun, hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya kadar *fly ash* sebagai *filler* terhadap bahan RAP sebagai daur ulang AC WC, memberikan pengaruh terhadap berat isi campuran yang nilainya cenderung bertambah

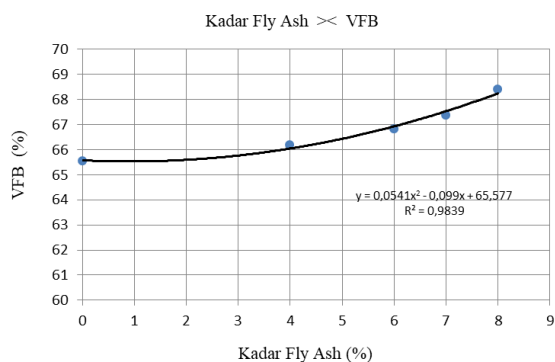
dan mengakibatkan penurunan nilai VMA. Besar kecilnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal yang menyelimuti agregat. *Fly ash* mempunyai kandungan silika, yaitu membantu meningkatkan kekuatan akhir campuran aspal dengan mengisi rongga dan mengikat partikel lainnya, sehingga rongga antar agregat mengecil



Gambar 5. Hubungan kadar *fly ash* dengan void in mineral aggregate (VMA)

5) Void Fill Bitumen (VFB)

Nilai VFB pada campuran AC-WC berdasarkan Gambar 6 mengalami peningkatan pada saat penambahan persentase kadar *fly ash* dari 0% sampai 8%, Nilai VFB terendah diperoleh pada kadar *fly ash* 0% yaitu 65,65% , dan nilai VFB tertinggi terjadi pada kadar 8% yaitu 68,50%. Sehingga dapat dikatakan bahwa dalam pengujian ini, penambahan *filler fly ash* mempengaruhi nilai VFB. Hal ini disebabkan karena penambahan persentase kadar *fly ash* yang berada dalam aspal mengakibatkan rongga yang berada dalam VFB yang terisi akan semakin bertambah, sehingga mengakibatkan rongga terisi aspal yang bercampur *fly ash* bertambah.



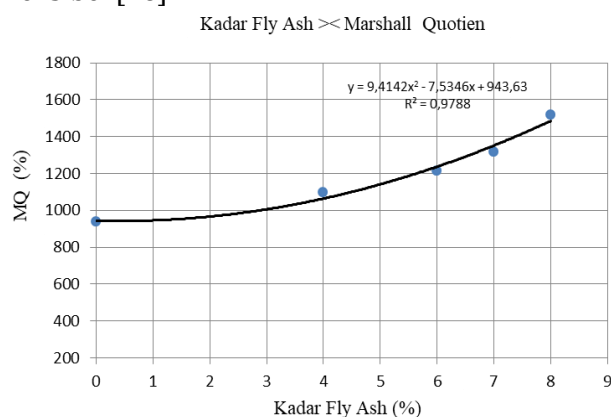
Gambar 6. Hubungan kadar *fly ash* dengan void fill bitumen (VFB)

6) Marshall Quotient (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* menggunakan persentase *fly ash* sebagai *filler* pada rancangan daur ulang AC-WC diperlihatkan pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7, terlihat bahwa nilai *Marshall Quotient* mengalami kenaikan dari hasil pengujian yang dilakukan. Penambahan *fly ash* dari persentase 0% sampai 8% memenuhi syarat spesifikasi yaitu minimum 250 kg/mm.

Penambahan *fly ash* pada campuran aspal mempengaruhi nilai *Marshall Quotient*. Hal ini dapat dilihat pada campuran aspal dengan penambahn *fly ash* 0% dengan nilai *Marshall Quotient* 937,31 kg/mm dan campuran kadar *fly ash* 8% dengan nilai *Marshall Quotient* 1518,59 kg/mm mengalami kenaikan apabila ditambah dengan *fly ash*. Kenaikan dan penurunan nilai *MQ* dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan flow pada campuran. Jika nilai stabilitas besar dan nilai flow kecil maka menghasilkan campuran yang kaku dan mudah retak jika diberi beban.

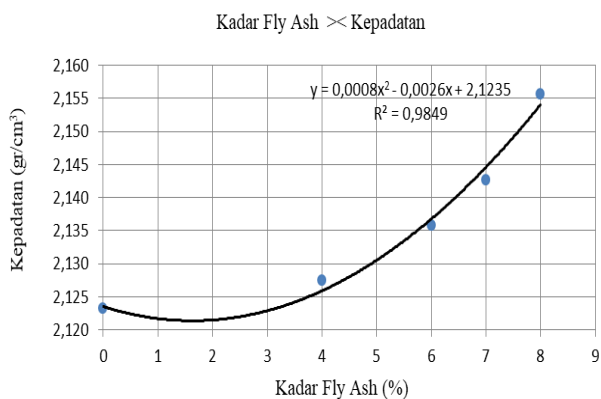
Campuran yang memiliki nilai *MQ* yang terlalu tinggi berpengaruh kepada campuran yang bersifat kaku dan fleksibilitasnya rendah sehingga campuran akan lebih mudah mengalami retakan. Dikarenakan nilai stabilitas yang tinggi dan nilai *flow* yang rendah, menyebabkan nilai *MQ* mengalami kenaikan. Nilai *MQ* yang lebih tinggi menunjukkan campuran yang lebih kaku, sedangkan nilai yang lebih rendah menunjukkan campuran yang lebih fleksibel [16].



Gambar 7. Hubungan kadar *fly ash* dan *marshall quotient* (MQ)

7) Kepadatan (Density)

Nilai kepadatan pada campuran AC- WC dengan menggunakan *fly ash* diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hubungan kadar *fly ash* dengan kepadatan (*density*)

Dari Gambar 8 terlihat bahwa nilai kepadatan mengalami peningkatan pada saat penambahan persentase kadar *fly ash* dari 4% sampai 10%, dan pada persentase 0% sampai 1% terjadi penurunan. Nilai Kepadatan terendah diperoleh pada kadar plastik 2%, dan nilai *density* tertinggi terjadi pada kadar 8%. Pada campuran aspal dengan penambahan *fly ash* 2% nilai kepadatan 2,12%, sedangkan pada campuran kadar aspal dengan penambahan *fly ash* 8% memiliki nilai kepadatan 2,16% mengalami kenaikan, sehingga dapat dikatakan bahwa dalam pengujian ini, penambahan *fly ash* mempengaruhi nilai kepadatan. *Fly ash* yang ditambahkan berperan sebagai *filler* sehingga dapat mengisi rongga dalam campuran sehingga memperkuat kuantitas aspal di dalam campuran yang menyebabkan campuran menjadi padat.

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

Pengujian ekstraksi rata-rata memperoleh kadar aspal rata-rata sebesar 4,75%. Nilai stabilitas mengalami kenaikan setiap penambahan *fly ash*, nilai terendah diperoleh pada persentase 4%, dan nilai tertinggi pada variasi 8%. Nilai *flow* grafik mengalami penurunan dengan nilai terendah pada persentase 8% dan tertinggi pada persentase 2%. Nilai VIM grafik mengalami penurunan dengan nilai terendah pada persentase 8% sebesar dan tertinggi pada persentase 0%. Pada nilai VMA grafik mengalami penurunan dengan nilai terendah pada persentase 8% dan tertinggi pada persentase 0%.

Pada nilai VFB grafik mengalami kenaikan, nilai terendah pada persentase 0% dan nilai tertinggi pada variasi 8%. Pada nilai *Marshall Quotien* grafik mengalami kenaikan, nilai terendah pada persentase 0% dan nilai tertinggi pada variasi 8%. Dan pada nilai kepadatan grafik mengalami kenaikan, nilai terendah pada persentase 1% dan nilai tertinggi pada variasi 8%. Pada persentase campuran *fly ash* 0%, 4%, 6%, 7% dan 8% nilai stabilitas, flow, MQ, VMA, dan VFB memenuhi persyaratan spesifikasi. Sedangkan nilai VIM tidak memenuhi persyaratan spesifikasi.

#### Daftar Pustaka

- [1] Wilis, A. R.& Risdianto, Y., 2018. *Pengaruh penambahan reclaimed asphalt pavement (RAP) dan lawele granular asphalt (LGA) sebagai bahan substitusi agregat pada campuran beton aspal wearing course (AC-WC) dengan fly ash sebagai filler*. Rekayasa Teknik Sipil, Vol. 2, No. 2.
- [2] Widayanti, A., Soemitro, R. A. A., Ekaputri, J. J., & Suprayitno, H., 2020. *Analisis pemanfaatan zat aditif pada reclaimed asphalt pavement untuk lapisan beton aspal*. Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas, Vol. 4, No. 1.
- [3] Sunarjono, S., Giri, D., Purnomo, W., & Renaningsih, R., 2012. *Characteristics of reclaimed asphalt pavement as a road preservation recycling material*. Jurnal Dinamika Teknik Sipil, Vol. 12, No. 3.
- [4] Prihandoko, B., Sri, S., Riyanto, A., & Harnaeni, S. R., 2019. *Kinerja campuran aspal emulsi sistem warm mix dengan variasi penambahan PC dan bahan RAP*. Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri, pp. 167-173.
- [5] Hamzah, R. A., Kaseke, O. H., & Manoppo, M., 2016. *Pengaruh variasi kandungan bahan pengisi terhadap kriteria marshall pada campuran beraspal panas jenis lapis tipis aspal beton–lapis aus gradasi senjang*. Jurnal Sipil Statik, Vol. 4, No. 7, pp. 447-452.
- [6] Syaifuddin Din ST, M., Kurniati, K., Gusrizal, G., Miswar, M., & Ulfa, N., 2025. *Penggunaan fly ash dan pofa sebagai filler dalam modifikasi campuran aspal hotmix AC-BC*. Jurnal Teknologi, Vol. 25, No. 1, pp. 75-83.

- [7] Sompie, F. A., Manoppo, F. J., & Sompie, O. B., 2018. *Stabilisasi tanah ekspansif dengan campuran abu batu bara dan abu terbang batu karang dengan aplikasi timbunan tipe urugan tanah*. Jurnal Ilmiah Media Engineering, Vol. 8, No. 2.
- [8] Riyanto, A. & Prasetya, R. D., 2020. *Pengaruh kadar filler fly ash dalam campuran AC-WC dengan pasir pantai takisung sebagai agregat halus ditinjau dari aspek ketidakrataan dan properties marshall*. Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 13, No. 2, pp. 37-47.
- [9] Hartadi, D. B., 2021. *Analisis karakteristik marshall pada campuran asphalt concrete-binder course (AC-BC) menggunakan limbah plastik high-density polyethylene (HDPE) dan serbuk abu tempurung kelapa sebagai filler*. Rekayasa Teknik Sipil, Vol. 9, No. 1.
- [10] Amalia, A., Rosyidah, A., Rinawati, R., Yatmadi, D., & Tiyani, L., 2023. *Penggunaan limbah reclaimed asphalt pavement untuk perbaikan halaman parkir masjid*. JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri), Vol. 7, No. 5, pp. 4771-4779.
- [11] Sumiati, S. & Sukarman, S., 2014. *Pengaruh gradasi agregat terhadap nilai karakteristik aspal beton (AC-BC)*. PILAR, Vol. 10, No. 1.
- [12] Sukarman, S., 2003. *Beton aspal campuran panas*. Yayasan Obor Indonesia.
- [13] Budiman, L. & Sukirman, S., 2018. *Studi penggunaan batu kapur kalipucang sebagai substitusi sebagian agregat halus beton aspal jenis AC-BC*. RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil, Vol. 4, No. 1, p. 45.
- [14] Putra, D. P. & MAHARDI, P., 2019. *Analisa campuran AC-WC dengan agregat reclaimed asphalt pavement (RAP) dan filler abu batu sebagai campuran untuk penambahan plastik high density polyethylene (HDPE)*. Rekayasa Teknik Sipil, Vol. 7, No. 4.
- [15] Azmi, A. R. K., Farid, A., & Salsabila, N. S., 2022. *Pengaruh penambahan limbah karet ban sebagai substitusi sebagian kadar aspal terhadap stabilitas AC-BC dengan metode marshall test*. Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil, Vol. 7, No. 1, pp. 25-30.
- [16] Nugroho, M. S., 2019. *Karakteristik marshall quotient pada hot mix asphalt menggunakan agregat alam sungai opak*. INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur, Vol. 15, No. 2, pp. 84-91.