

## Perbandingan kinerja campuran perkerasan antara *hot rolled sheet wearing course (HRS-WC)* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dengan *fly ash* sebagai *filler*

Rayhan Hafidzurrakhman<sup>1</sup>, Faizul Chasanah<sup>1\*</sup>, Muhammad Fadhil Rabhani Al'Asyar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

### Article Info

Available online

### Keywords:

Hot Rolled Sheet  
Fly Ash  
Marshall  
Cantabro

### Corresponding Author:

Faizul Chasanah  
faizul\_chasanah@uii.ac.id

### Abstract

*Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)* has incomplete aggregate gradation fraction and the composition is dominated by fine aggregate. This causes the mixture have voids and uses a large amount of bitumen so that the mixture tends to be more flexible. The use of fly ash filler in the asphalt concrete mixture functions as cavity filler in the mixture, increasing the binding capacity of asphalt concrete thereby increasing the strength and density of the pavement mixture. This research aims to determine the comparison between HRS-WC graded and semi-graded with fly ash as filler in terms of testing Marshall characteristics and Cantabro Loss performance. The method used in this research refers to the General Specifications for Bina Marga 2018 and SNI. There are four testing stages in this research, the first is testing the physical properties of the materials. The next stage is testing to determine the Optimum Asphalt Content (OAC). Then Marshall and Cantabro loss were tested. Then make an analysis and discussion based on previous tests and made conclusions. In the Marshall test when using stone ash filler or when substituted with Fly ash, similar results were obtained, semi-gap graded HRS-WC had better Marshall characteristic values than gap-graded HRS-WC. The optimum fly ash filler content obtained was 100% in both types of HRS-WC mixture gradations. In the Cantabro loss test, semi-gap graded HRS-WC had smaller wear along with increasing variations fly ash content compared to gap-graded HRS-WC. The optimum fly ash content obtained in the cantabro loss test was 100% for both types of HRS-WC mixture gradations.

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

Jalan merupakan salah satu infrastruktur utama yang berpengaruh terhadap distribusi barang maupun jasa bagi penduduk, serta menggerakkan roda perekonomian pada daerah tersebut. Campuran beraspal panas (*Hot Mixed Asphalt*) merupakan jenis lapis permukaan jalan yang umum digunakan di Indonesia. Menurut Bina Marga (2018) terdapat 3 jenis campuran beraspal panas yaitu *Stone Matrix Asphalt (SMA)*, Lapis Tipis Aspal beton (LATASTON) atau *Hot Rolled Sheet (HRS)*, dan Lapis Aspal Panas (LASTON) atau *Asphalt Concrete (AC)*. HRS-Lapis Aus memiliki dua jenis campuran yaitu HRS-WC

gradasi senjang dan HRS-WC gradasi semi senjang. Meskipun memiliki kemiripan dalam hal gradasi agregat, dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau terdapat beberapa fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit. komposisi bahan pembentuk campuran HRS-WC sangat dipengaruhi oleh penggunaan agregat halus yang dominan yang mana menyebabkan berkurangnya penggunaan butiran agregat sedang dan besar. Hal tersebut mengakibatkan rongga yang semakin terbuka pada campuran tersebut sehingga dapat diisi oleh lebih banyak bitumen. Penggunaan *filler* yang lebih banyak dapat menyerap bitumen, sehingga tidak

terjadi ketidak seragamnya kandungan bitumen pada suatu campuran.

*Filler* memiliki peran yang penting dalam suatu campuran yang mana dapat meningkatkan fleksibilitas dan daya tahan campuran tersebut. Peran *filler* pada campuran adalah untuk mengisi rongga – rongga, sehingga memperkecil rongga udara dan meningkatkan ketahanan gesek dan *interlocking* atau penguncian antar agregat pada campuran. Penggunaan mineral *fly ash* dalam campuran aspal beton selain untuk mengisi rongga dalam campuran, juga meningkatkan daya ikat aspal beton yang akan berpengaruh pada peningkatan kekuatan dan kerapatan dari campuran perkerasan tersebut. Berdasarkan informasi diatas, peneliti ingin melakukan penelitian terkait perbandingan antara *HRS-WC* yang bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dengan *fly ash* sebagai *filler* ditinjau dari pengujian sifat karakteristik *Marshall* dan pengujian kinerja *Cantabro Loss*.

**Tinjauan Pustaka**

**Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Senjang**

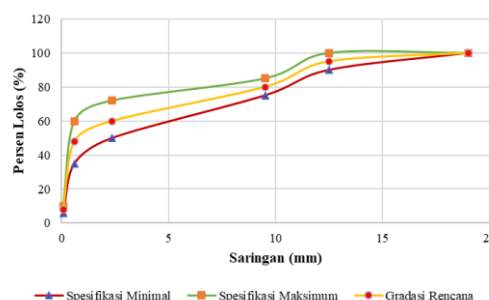
Campuran perkerasan *HRS-WC* bergradasi senjang memiliki fraksi agregat yang tidak lengkap atau timpang dan didominasi oleh agregat halus. Penggunaan agregat halus yang dominan ini menyebabkan campuran cenderung menggunakan aspal yang lebih banyak sehingga menyebabkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang digunakan lebih besar. Tabel 1. dan Gambar 1. adalah fraksi agregat yang digunakan pada *HRS-WC* bergradasi senjang.

Tabel 1. Gradasi Agregat Campuran *HRS-WC* Bergradasi Senjang

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	15
No.8 (2,36 mm)	50	72	60	20

Lanjutan Tabel 1. Gradasi Agregat Campuran *HRS-WC* Bergradasi Senjang

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan
No.30 (0,600 mm)	35	60	48	12
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	40
PAN				8



Gambar 1. Grafik Agregat Rencana *HRS-WC* Gradasi Senjang

Seperti penelitian yang dilakukan oleh Auliani (2018) dengan menggunakan penambahan serat *Polypropylene (PP)* dengan kadar pencampuran dari 0% - 1,6% dengan interval 0,4% terhadap berat total campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan menghasilkan peningkatan pada nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, dan *VFWA* seiring penambahan kadar serat *PP* hingga mencapai 0,4%, kemudian menurun ketika kadar serat *PP* berlebih. Pada pengujian *Cantabro Loss* mengalami penurunan.

**Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Semi Senjang**

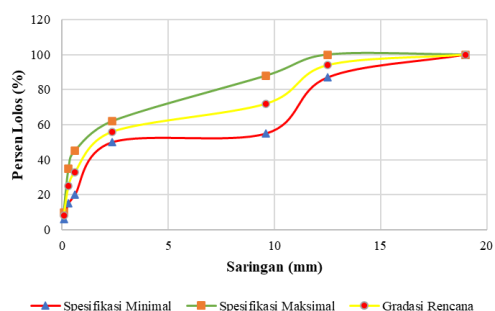
Berbeda halnya dengan campuran *HRS-WC* bergradasi senjang, pada *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki fraksi agregat yang lebih lengkap sehingga masih terdapat fraksi agregat yang terisi. Tabel 2. dan Gambar 2. adalah fraksi agregat yang digunakan pada *HRS-WC* bergradasi semi senjang.

Tabel 2. Gradasi Agregat Campuran *HRS-WC* Bergradasi Senjang

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0
1/2" (12,5 mm)	87	100	94	6
3/8" (9,5 mm)	55	88	72	22

Lanjutan Tabel 2. Gradasi Agregat Campuran HRS-WC Bergradasi Senjang

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan
No.8 (2,36 mm)	50	62	56	16
No.30 (0,600 mm)	20	45	33	23
No.50 (0,300 mm)	15	35	25	8
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	17
PAN				8



Gambar 2. Grafik Agregat Rencana HRS-WC Gradasi Semi Senjang

Tombeg dkk. (2019) melakukan penelitian dengan pemanfaatan sedimen abu vulkanik gunung Soputan sebagai bahan substitusi agregat halus pada campuran perkerasan HRS-WC bergradasi semi senjang. Pada penelitian ini menggunakan kadar abu soputan sebanyak 0%, 50%, dan 100% serta variasi kadar aspal 5% sampai 9%, dari hasil perhitungan didapatkan nilai kadar aspal optimum 7,3%, 7,5%, dan 7,95% yang mana telah memenuhi nilai persyaratan karakteristik *Marshall* sesuai spesifikasi Teknik Bina Marga 2010.

### Perbandingan Hot Rolled Sheet Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

Menurut Bina Marga (2010) perbedaan antara HRS-WC bergradasi senjang dan yang bergradasi semi senjang adalah penggunaan agregat halus yang lebih lengkap. Pengaruh penggunaan agregat yang lebih lengkap menyebabkan campuran menjadi lebih kuat dan padat seperti penelitian yang dilakukan oleh Yanti dkk. (2019) dan Daud dkk. (2020). Hasil kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa HRS-WC bergradasi semi senjang

memiliki nilai karakteristik *marshall* yang lebih baik dibandingkan dengan yang bergradasi senjang. Penelitian yang dilakukan oleh Yanti dkk. (2019) menggunakan substitusi batu apung sebagai pengganti *filler* dan didapatkan hasil campuran HRS-WC bergradasi senjang cenderung lebih lentur dibandingkan dengan yang bergradasi semi senjang. Daud dkk. (2020) menggunakan limbah abu kelapa sawit mentah atau *crude palm oil (CPO)* sebagai substitusi *filler* dan mendapatkan hasil yang serupa dengan penelitian sebelumnya.

### Penggunaan Fly Ash Sebagai Filler pada Campuran HRS-WC

HRS-WC yang didominasi oleh agregat halus menyebabkan campuran cenderung bersifat lentur sehingga penggunaan *filler fly ash* pada HRS-WC bertujuan untuk memperkaku maupun memperkuat campuran perkerasan tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Yusuf (2018) menggunakan *fly ash* sebagai pengganti *filler* dan aspal Retona Blend 55 pada campuran HRS-WC. Kadar *fly ash* yang digunakan sebagai bahan pengganti *filler* pada penelitian ini adalah 0%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% dari berat total *filler*. Hasil dari penelitian ini adalah meningkatnya kepadatan campuran dan sifat campuran yang menjadi terlalu kaku sehingga menyebabkan campuran mudah mengalami *cracking* atau keretakan. Hal yang serupa terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Wenur dkk. (2023) yaitu dengan menggunakan *fly ash* sebagai pengganti *filler* pada campuran HRS-WC bergradasi senjang. Kadar variasi *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat total benda uji. Hasil pengujian menunjukkan nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, *density*, dan *VFB* mengalami penurunan nilai seiring dengan bertambahnya kadar *fly ash*. Sebaliknya nilai *VIM* dan *VMA* mengalami kenaikan nilai seiring bertambahnya kadar *fly ash*.

### Karakteristik Mekanik Marshall

Karakteristik mekanik dapat dilihat dari hasil pengujian benda uji dengan bantuan alat *Marshall*. Adapun hasil yang didapatkan

antara lain nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), dan *marshall quotient* (*MQ*).

### Stabilitas

Dalam konteks perkerasan jalan, nilai stabilitas merujuk pada kapasitasnya untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi seperti gelombang, alur (*rutting*), dan *bleeding*. Tingkat kebutuhan akan stabilitas jalan sebanding dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang melintasinya. Nilai stabilitas didapat dari Pers. (1) berikut.

$$S = p \times q \quad (1)$$

dengan *S* : angka stabilitas, *p* : pembacaan aroji stabilitas × kalibrasi alat, dan *q* : koreksi tebal benda uji

### Kelelahan (Flow)

Kelelahan (*flow*) merupakan suatu besaran perubahan vertikal atau deformasi yang terjadi pada benda uji ketika pertama kali diberi beban. Sama halnya seperti saat mendapatkan nilai stabilitas, nilai *flow* didapat dari *flowmeter* pada alat tekan Marshall dan biasanya dalam satuan milimeter (mm).

### Marshall Quotient

*Marshall Quotient* (*MQ*) adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan (*flow*). Nilai *MQ* dapat diperoleh menggunakan Pers. (2) berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (2)$$

dengan *MQ* ; nilai *Marshall Quotient* (kg/mm), *q* : nilai stabilitas (kg), dan *r* : nilai kelelahan (mm)

### Karakteristik Volmetrik Marshall

Karakteristik volumetrik pada pengujian *Marshall* membahas tentang ruang yang berada didalam suatu campuran. Parameter yang didapatkan yaitu berat jenis maksimum (*G<sub>mm</sub>*), berat jenis *bulk* (*G<sub>mb</sub>*), Kepadatan (*density*), *Voids in Mineral Aggregate* (*VMA*), *Voids in Total Mix* (*VITM*), dan *Voids Filled with Asphalt* (*VFWA*).

### Berat Jenis Maksimum Benton aspal yang belum dipadatkan (*G<sub>mm</sub>*)

Berat jenis maksimum beton aspal yang belum didapatkan adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa pori/udara, yang dipadatkan dari penelitian di laboratorium menggunakan prosedur AASHTO T209-90. Berat jenis maksimum beton aspal diperoleh menggunakan Pers. (3) berikut.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (3)$$

dengan *G<sub>mm</sub>* : berat jenis maksimum campuran aspal yang belum dipadatkan, *P<sub>s</sub>* : kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%), *G<sub>s</sub>*: berat jenis aspal, dan *G<sub>s</sub>* : berat jenis *bulk* efektif agregat

### Berat Jenis Bulk Beton Aspal Padat (*G<sub>mb</sub>*)

Berat jenis *bulk* beton aspal padat adalah berat jenis campuran beton aspal dengan pori/udara, berdasarkan hukum Archimedes diperoleh Pers. (4) berikut.

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (4)$$

dengan *G<sub>mb</sub>* : berat jenis *bulk* dari beton aspal padat, *B<sub>k</sub>*: berat kering beton aspal padat (gr), *B<sub>ssd</sub>*: berat kering permukaan beton aspal yang telah dipadatkan (gr), dan *B<sub>a</sub>* : berat beton aspal padat di dalam air (gr).

### Berat Jenis Bulk Efektif Agregat (*G<sub>se</sub>*)

Berat jenis *bulk* efektif agregat adalah berat jenis keseluruhan campuran beton aspal dengan pori/udara, tidak termasuk rongga pori yang terisi aspal. Berat jenis *bulk* efektif agregat diperoleh menggunakan Pers. (5) berikut.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (5)$$

dengan *G<sub>se</sub>* : berat jenis *bulk* efektif agregat *G<sub>mm</sub>* : berat jenis maksimum campuran aspal yang belum dipadatkan, *P<sub>mm</sub>* : persen berat dari campuran total yang tidak dipadatkan = 100%, dan *G<sub>b</sub>* : berat jenis aspal.

### Kepadatan (Density)

Density merupakan tingkatan kerapatan suatu campuran setelah dipadatkan. Nilai *density* didapat dari Pers. (6) dan Pers. (7) berikut ini.

$$g = c/(f) \quad (6)$$

$$f = d - e \quad (7)$$

dengan *g* : nilai *density* (gr/cc), *c* : berat benda uji sebelum direndam (gr), *d* : berat benda uji dalam keadaan jenuh (gr), *e* : berat benda uji di dalam air (gr), dan *f* : volume benda uji (cm<sup>3</sup>).

### Voids in Mineral Aggregate (VMA)

*Voids in Mineral Aggregate (VMA)* adalah banyaknya pori/udara yang berada di antara butir-butir agregat dalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. Perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm<sup>3</sup>. Nilai *VMA* dapat diperoleh menggunakan Pers. (8) berikut.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}\right)\% \quad (8)$$

dengan *VMA* : volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%), *G<sub>mb</sub>* : berat jenis *bulk* dari beton aspal padat, *P<sub>s</sub>* : kadar agregat terhadap berat beton aspal padat (%), dan *G<sub>sb</sub>* : berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk beton aspal padat.

### Voids in Total Mix (VITM)

*Voids in Total Mix (VITM)* adalah pori/udara yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. *VITM* bertujuan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas ataupun sebagai ruang aspal yang meleleh akibat naiknya suhu udara di lapangan. Perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm<sup>3</sup>. Nilai *VITM* dapat diperoleh menggunakan Pers. (9) berikut.

$$VITM = \left(100 - \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}}\right)\% \quad (9)$$

dengan *VITM* : volume pori beton aspal padat (%), *G<sub>mm</sub>* : berat jenis maksimum campuran aspal yang belum dipadatkan, dan *G<sub>mb</sub>* : berat jenis *bulk* dari beton aspal padat,

### Voids Filled with Asphalt (VFWA)

*Voids Filled with Asphalt (VFWA)* adalah persentase pori/udara terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan yaitu jumlah tumbukan, temperatur pemadatan, gradasi agregat, dan kadar viskositas aspal. Nilai *VFWA* berpengaruh terhadap sifat kekedapan dan kelenturan pada campuran aspal, dengan kata lain *VFWA* menentukan stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas. Nilai *VFWA* dapat diperoleh menggunakan Pers. (10) berikut.

$$VFWA = \frac{100 - (VMA \times VITM)}{VMA} \quad (10)$$

dengan *VFWA* : volume pori antara butir agregat yang terisi aspal (%), *VMA* : volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%), dan *VITM* : volume pori beton aspal padat (%).

### Cantabro Loss

*Cantabro Test* adalah pengujian campuran aspal yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan terhadap pengaruh beban lalu lintas yang berulang-ulang yang menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Nilai *Cantabro Loss* dapat diperoleh menggunakan Pers. (11) berikut.

$$L = \frac{VMA \times VITM}{M_o} \times 100\% \quad (11)$$

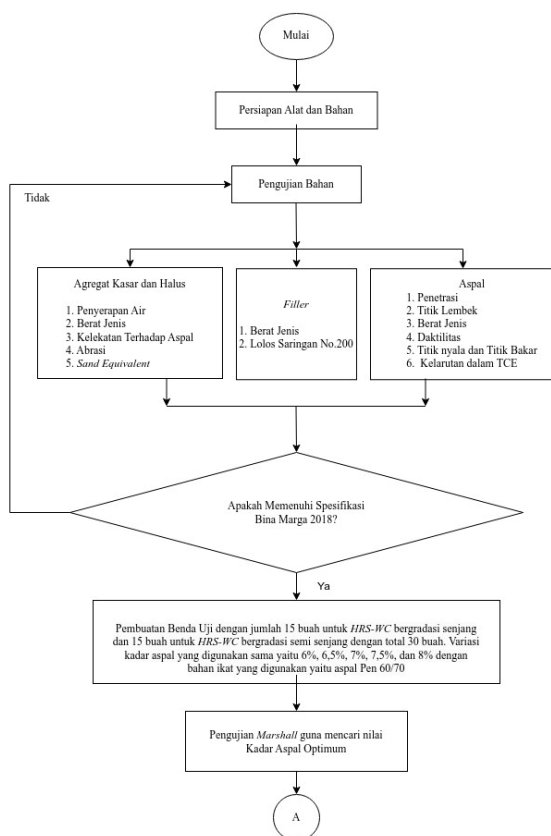
dengan *L* : persentase kehilangan berat (%), *M<sub>o</sub>* : berat sebelum diabrasi (gr), dan *M<sub>i</sub>* : berat setelah diabrasi (gr).

### Metode Penelitian

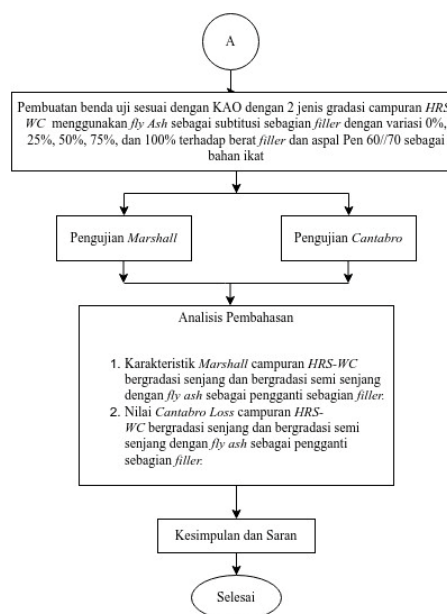
Metode penelitian akan memberikan gambaran terkait tahapan yang akan dilakukan oleh peneliti untuk mencapai tujuan penelitian yang diinginkan. Metodologi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, pada metode ini akan dilakukan percobaan maupun pengujian agar mendapatkan data – data yang diperlukan. Data yang didapat dari pengujian tersebut akan dianalisis kemudian dibandingkan

dengan persyaratan dari standar spesifikasi yang akan digunakan. Acuan standar spesifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik Marshall dan kinerja cantabro loss dari campuran perkerasan hot rolled sheet lapis aus (HRS-WC) yang menggunakan fly ash sebagai pengganti filler.

Tahapan pertama yang dilakukan adalah persiapan alat uji dan bahan. Kemudian dilakukan pengujian fisik untuk material aspal, filler dan agregat baik kasar dan halus. Setelah semua bahan dinyatakan memenuhi spesifikasi maka pembuatan benda uji dapat dilakukan. Pengujian Marshall dan Cantrabo dilakukan untuk mengkonfirmasi perbedaan hasil kinerja gradasi. Tahapan penelitian secara detail dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Bagan alir penelitian



Gambar 3. Bagan alir penelitian

## Analisis dan Pembahasan

### Pengujian Material

Pengujian material meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal. Tujuan dilakukan pengujian material adalah untuk mengetahui apakah material yang digunakan pada penelitian ini sudah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Revisi 2 atau tidak. Lokasi dilakukannya pengujian berada di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Hasil pengujian material dapat dilihat pada Tabel 3. sampai Tabel 6. berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis Penyerapan	2,62	Min. 2,5	Memenuhi
2	Agregat Terhadap Air (%) Kelekatkan Agregat Terhadap Aspal (%) Keausan dengan	2,25	Maks. 3	Memenuhi
3	Mesin Los Angeles (%)	98,00	Min. 95	Memenuhi
4	Mesin Los Angeles (%)	22,08	Maks. 40	Memenuhi

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis Penyerapan	2,71	Min 2,5	Memenuhi
2.	Agregat Terhadap Air (%)	1,41	Maks. 3	Memenuhi
3.	Sand Equivalent (%)	91,43	Min. 50	Memenuhi

Tabel 5. Hasil Pengujian Filler

No.	Jenis Pengujian	Jenis Filler	Keterangan
1.	Lolos No. 200	Saringan Abu Batu Fly Ash	Lolos
2.	Berat Jenis	Abu Batu Fly Ash	2,58

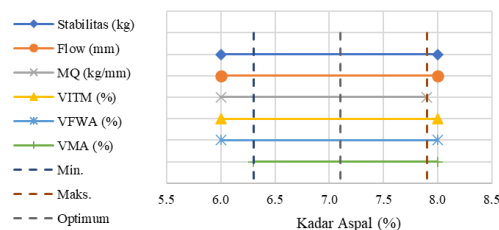
Tabel 6. Hasil Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	1,06	$\geq 1,0$	Memenuhi
2.	Penetrasi (0,1mm)	63	60 – 70	Memenuhi
3.	Daktilitas (cm)	164	$\geq 100$	Memenuhi
4.	Nyala Titik (°C)	310	$\geq 232$	Memenuhi
5.	Bakar Titik (°C)	340	$\geq 225$	Memenuhi
6.	Kelarutan terhadap TCE (%)	99,19	$\geq 99$	Memenuhi
7.	Lembek Titik (°C)	58	$\geq 48$	Memenuhi

### Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)

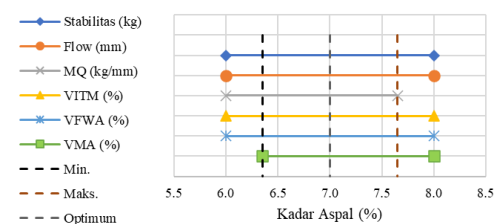
Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan dengan menggunakan pengujian karakteristik Marshall. Nilai – nilai yang didapatkan dari pengujian karakteristik Marshall antara lain stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), kepadatan (*density*), *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Grafik pengujian karakteristik Marshall untuk HRS-WC bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dapat dilihat pada Gambar 4. dan Gambar 5. berikut.

**KAO = 7,1**



Gambar 4. Grafik KAO HRS-WC bergradasi senjang

**KAO = 7,05**



Gambar 5. Grafik KAO HRS-WC bergradasi semi senjang

Nilai – nilai yang telah didapatkan dari pengujian karakteristik Marshall kemudian dilakukan analisis data guna menentukan KAO yang akan digunakan pada penelitian ini. Nilai KAO yang didapatkan untuk HRS-WC bergradasi senjang adalah 7,1%, sedangkan untuk HRS-WC bergradasi semi senjang adalah 7,05%. KAO yang didapatkan oleh kedua jenis gradasi tersebut berbeda dikarenakan perbedaan gradasi agregat yang digunakan. Kedua nilai KAO yang didapat telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu  $\geq 5,9\%$ .

### Pengujian Marshall dengan Filler Fly Ash

*Filler fly ash* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT. PLN Indonesia Power PLTU Jawa Tengah 2 Adipala OMU, Kelurahan Bunton, Kecamatan Adipala, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. Variasi kadar *fly ash* yang digunakan sebagai pengganti *filler* pada penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Rekapitulasi hasil pengujian Marshall dapat dilihat pada Tabel 7. dan Tabel 8. berikut.

Tabel 7. Hasil Pengujian Marshall HRS-WC Bergradasi Senjang

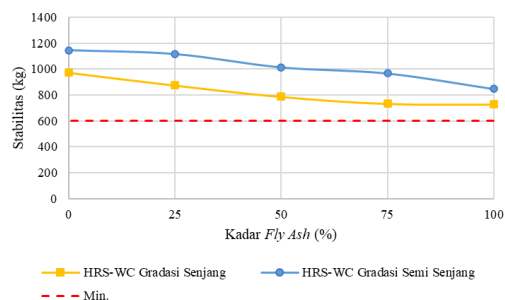
Jenis Gradasi	Kadar Fly Ash (%)	Stabilisasi (Kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
Senjang	0	971,431	3,210	305,099	4,183	77,708	18,662	2,151
	25	873,435	2,810	313,404	4,079	78,063	18,574	2,154
	50	761,190	2,565	304,646	4,024	78,281	18,526	2,155
	75	733,015	2,213	336,010	3,744	79,543	18,289	2,161
	100	728,036	2,077	358,111	3,202	82,260	17,829	2,173
Spesifikasi		≥600	-	≥250	3 - 5	≥68	≥17	-

Tabel 8 Hasil Pengujian Marshall HRS-WC Bergradasi Semi Senjang

Jenis Gradasi	Kadar Fly Ash (%)	Stabilisasi (Kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
Semi Senjang	0	1.143,75	3,623	317,987	4,208	77,490	18,683	2,151
	25	1.114,569	3,497	318,936	3,652	79,999	18,210	2,163
	50	1.012,856	3,143	322,597	3,548	80,430	18,122	2,166
	75	966,119	2,960	326,596	3,379	81,220	17,979	2,169
	100	847,958	2,527	338,129	3,172	82,193	17,804	2,174
Spesifikasi		≥600	-	≥250	3 - 5	≥68	≥17	-

### Stabilitas

Nilai stabilitas menandakan kapabilitas suatu benda uji ketika menerima beban tanpa terjadi deformasi. Semakin tinggi nilai stabilitas yang dimiliki suatu benda uji, maka daya tahan benda uji tersebut terhadap deformasi akan semakin tinggi begitupun sebaliknya. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan, nilai stabilitas yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran HRS-WC mengalami penurunan seiring dengan besarnya substitusi fly ash sebagai filler. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penggunaan fly ash sebagai filler menyebabkan campuran menjadi padat dan kaku sehingga mudah mengalami cracking. Campuran HRS-WC bergradasi semi senjang memiliki nilai stabilitas yang lebih besar daripada campuran HRS-WC bergradasi senjang pada seluruh variasi kadar fly ash. Grafik stabilitas dapat dilihat pada Gambar 6.

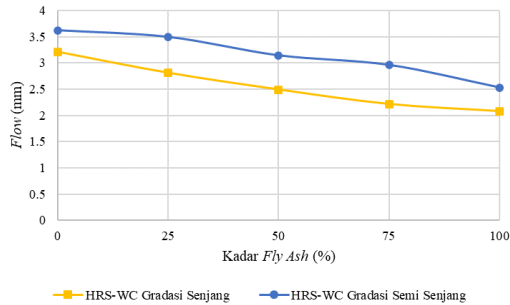


Gambar 6 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas HRS-WC Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

### Flow

Nilai flow sendiri memperlihatkan besaran nilai deformasi ketika benda uji menerima beban, terhitung dari awal pembebanan hingga stabilitas menurun. Semakin besar nilai flow yang dimiliki suatu benda uji, maka benda uji tersebut memiliki sifat yang plastis dan mudah berubah bentuk begitupun sebaliknya. Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai flow yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran HRS-WC mengalami penurunan seiring dengan besarnya substitusi fly ash sebagai filler. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penggunaan fly ash sebagai filler

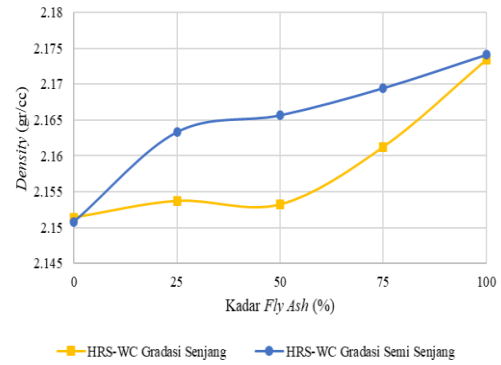
menyebabkan campuran menjadi lebih padat dan kaku sehingga tidak mudah mengalami deformasi bentuk. Campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki nilai *Flow* yang lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang pada seluruh variasi kadar *fly ash*. Grafik *flow* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai *Flow* *HRS-WC* Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

**Density**

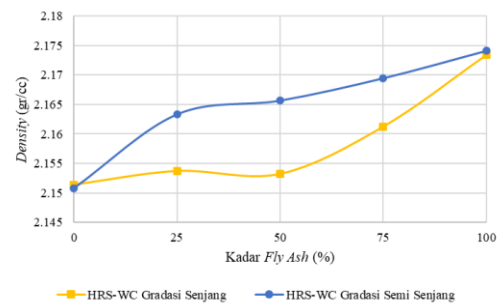
Nilai *Density* menandakan besaran nilai kepadatan berdasarkan nilai volumetriknya. Semakin besar nilai *Density* maka kepadatan yang dimiliki campuran tersebut semakin besar dan rongga semakin sedikit begitupun sebaliknya. Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai kepadatan yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami kenaikan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Kenaikan nilai tersebut terjadi dikarenakan *fly ash* berhasil mengisi rongga kosong yang berada di dalam campuran. Campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki nilai *Density* yang lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang pada seluruh variasi kadar *fly ash*. Grafik *density* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai *Density* *HRS-WC* Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

**VITM**

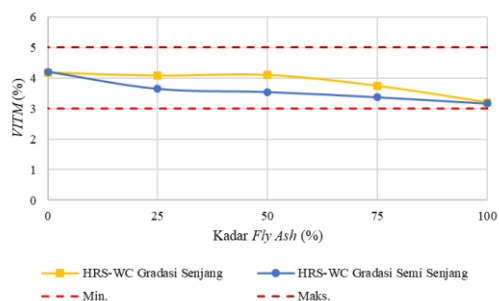
Nilai *VITM* menandakan persentase besaran rongga udara yang terdapat pada suatu benda uji. Semakin besar nilai *VITM* yang dimiliki oleh campuran, maka campuran tersebut memiliki rongga yang semakin besar sehingga bersifat rapuh begitupun sebaliknya. Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai *VITM* yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami penurunan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Penurunan nilai yang terjadi dikarenakan seiring dengan penambahan kadar *fly ash* yang digunakan menyebabkan campuran memiliki rongga yang semakin kecil dan padat. Campuran *HRS-WC* bergradasi senjang memiliki nilai *VITM* yang lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang ketika dilakukan variasi substitusi *filler fly ash*. Grafik *VITM* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai *VITM* *HRS-WC* Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

### VMA

Nilai *VMA* menandakan persentase besaran rongga pori yang dimiliki agregat pada suatu campuran. Semakin besar nilai *VMA* suatu campuran, maka rongga pori yang dimiliki semakin terbuka dan menyebabkan kepadatan dan daya tahan campuran melemah, tetapi jika nilai *VMA* terlalu kecil maka campuran menjadi terlalu padat dan kemampuan penyerapannya melemah. Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai *VMA* yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami penurunan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan *fly ash* sebagai *filler* dapat mengisi lebih banyak rongga kosong atau pori yang berada di dalam campuran. Campuran *HRS-WC* bergradasi senjang memiliki nilai *VMA* yang lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang ketika dilakukan variasi substitusi *filler fly ash*. Grafik *VITM* dapat dilihat pada Gambar 10.

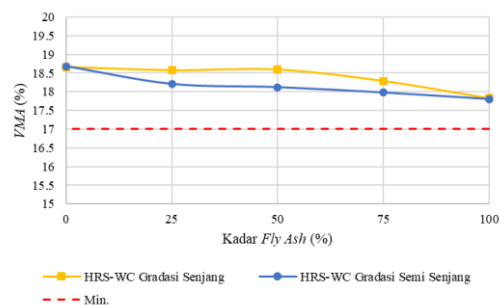


Gambar 10. Grafik Perbandingan Nilai *VMA* *HRS-WC* Bergradasi Senjang Dan Semi Senjang

### VFWA

Nilai *VFWA* menandakan persentase besaran rongga yang terisi atau terselimuti oleh aspal pada suatu campuran. Semakin besar nilai *VFWA* yang dimiliki oleh campuran, maka kemampuan aspal dalam mengisi rongga antar agregat pada suatu campuran semakin baik. Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai *VFWA* yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami kenaikan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash*

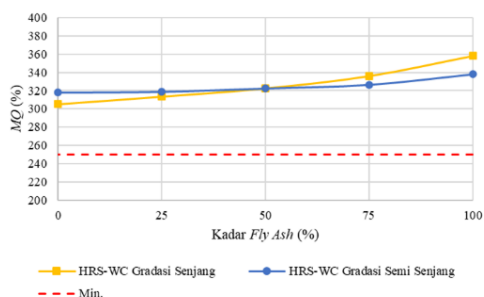
sebagai *filler*. Hal tersebut dapat terjadi akibat *filler fly ash* yang menyerap aspal dan mengisi rongga yang kosong pada campuran. Berbeda dengan nilai *VITM* dan nilai *VMA*, pada variasi kadar *fly ash* 25%, 50%, dan 75% nilai *VFWA* yang dimiliki oleh campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki nilai yang lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang. Grafik *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Nilai *VFWA* *HRS-WC* Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

### MQ

Nilai *MQ* adalah hasil pembagian antara nilai stabilitas dan nilai *flow*. Semakin tinggi nilai *MQ* suatu benda uji, maka akan semakin tinggi rigid atau kaku benda uji tersebut begitupun sebaliknya. Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai *MQ* yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami kenaikan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* menyebabkan campuran menjadi lebih padat, rapat, dan kaku. Berbeda dengan nilai stabilitas dan nilai *flow*, pada variasi kadar *fly ash* 75% dan 100% nilai *MQ* yang dimiliki oleh campuran *HRS-WC* bergradasi senjang memiliki nilai yang lebih besar dari pada campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang. Grafik *MQ* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Nilai *MQ* HRS-WC Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

### Pengujian Cantabro dengan Filler Fly Ash

Nilai ketahanan aus atau *cantabro loss* menandakan kekuatan ketika menghadapi beban lalu lintas dan seberapa banyak keausan yang dialami suatu benda uji tersebut. Semakin besar nilai *cantabro* yang didapatkan, maka keausan yang terjadi akan semakin besar begitupun sebaliknya. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai *cantabro loss* yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran HRS-WC mengalami penurunan nilai seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Penggunaan *filler fly ash* pada pengujian *cantabro loss* memberikan hasil yang lebih baik seiring dengan penambahan kadar *fly ash* yang mana menandakan campuran memiliki peningkatan daya ikat dan lebih tahan terhadap keausan. Campuran HRS-WC bergradasi semi senjang memiliki ketahanan yang lebih baik daripada HRS-WC bergradasi senjang. Rekapitulasi hasil pengujian *cantabro loss* dapat dilihat pada Tabel 9. dan Tabel 10. berikut.

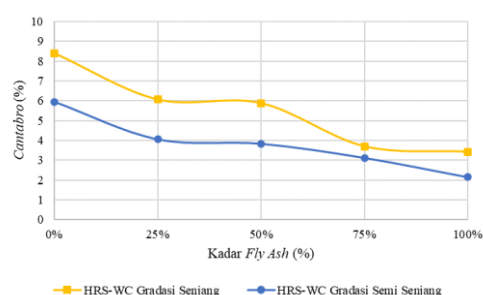
Tabel 9. Hasil Pengujian *Cantabro* HRS-WC Bergradasi Senjang

Jenis Gradasi	Kadar Fly ash (%)	Kehilangan Berat (%)
Senjang	0	8,41
	25	6,07
	50	5,88
	75	3,70
	100	3,43

Tabel 10. Hasil Pengujian *Cantabro* HRS-WC Bergradasi Semi Senjang

Jenis Gradasi	Kadar Fly ash (%)	Kehilangan Berat (%)
Semi Senjang	0	5,95
	25	4,06
	50	3,84
	75	3,12
	100	2,15

Grafik perbandingan HRS-WC bergradasi senjang dan semi senjang dapat dilihat pada Gambar 13. berikut.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Nilai *Cantabro Loss* HRS-WC Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada pengujian *Marshall* yang menggunakan *filler* abu batu 100% maupun dengan *fly ash* sebagai substitusi didapatkan hasil bahwa HRS-WC bergradasi semi senjang memiliki karakteristik *Marshall* yang lebih baik dibandingkan dengan HRS-WC bergradasi senjang. Kadar *filler fly ash* optimum yang didapatkan sebesar 100% pada kedua jenis gradasi tersebut.
2. Penggunaan *fly ash* sebagai *filler* cukup berpengaruh menurunkan nilai *cantabro loss* pada kedua jenis gradasi. Hasil menunjukkan bahwa HRS-WC bergradasi semi senjang memiliki nilai keausan yang lebih kecil seiring dengan bertambahnya variasi kadar *fly ash*.

**Daftar Pustaka**

- Auliani, N. 2018. Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene (PP)* pada Campuran *HRS-WC* Terhadap Karakteristik *Marshall, Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan Ketahanan Aus. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Daud., Rachman, R., dan Tanijaya, J. 2020. *Study of HRS-WC Mixture Performance Using the Waste of Crude Palm Oil Ash as Filler*. IOP Publishing. Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar, Indonesia.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. Spesifikasi Umum. Edisi 2020 (Rev. 2). Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. Spesifikasi Umum. Edisi 2014 (Rev. 3). Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Hermanus, G., Kaseke, O.H., dan Jansen, F. 2015. Kajian Perbedaan Kinerja Campuran Beraspal Panas Antara Jenis Lapis Tipis Aspal Beton-Lapis Aus (*HRS-WC*) Bergradasi Senjang dengan yang Bergradasi Semi Senjang. *Jurnal Sipil Statik*. Universitas Sam Ratulangi. Manado. Indonesia
- Standar Nasional Indonesia. 1991. Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat *Marshall*. SNI 06-2489-1991. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. Cara Uji Berat Jenis Aspal Panas. SNI 2441:2011. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. SNI 1969:2008. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. SNI 1970:2008. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. Spesifikasi Bahan Uji Pengisi untuk Campuran Beraspal. SNI 03-6723-2002. Indonesia.
- Subarkah. 2015. Modul Praktikum Bahan Perkerasan Jalan. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Sukirman, S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Tombeq, C.V., Manopo, M.R.E., dan Sendow, T.K. 2019. Pemanfaatan Sedimen Transport Abu Vulkanik (Gunung Sopotan) sebagai Bahan Substitusi pada Abu Batu dalam Campuran Aspal *HRS-WC* Gradasi Semi Senjang. *Jurnal Sipil Statik*. Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia.
- Wenur, K.R., Palenewen, S.Ch.N., Waani, J.E. 2023. Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi *Filler Fly Ash* pada Campuran Beraspal Panas Janis Lataston *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. *TEKNO Volume 21 No.85*. Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia.
- Yanti, S., Rosalia., Alpius., dan Sandi, D. 2019. Pengujian Batu Apung Sebagai *Filler* pada Campuran *HRS-WC*. *Paulus Civil Engineering Journal*. Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar, Indonesia.
- Yusuf, M.R. 2018. Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Batu Bara 5%, 5,5%, 6%, 6,5% pada Campuran *HRS-WC* Menggunakan Bahan Ikat Aspal Retona Blend 55. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia.