
Analisa Aspal *Wearing Course* (AC-WC) Modifikasi Dengan Bahan Tambah Fly Ash (Substitusi Abu Batu) Dan Tanah (Substitusi Pasir)

¹Auryn Maida Syahada*, ²Lutfia Khanifatul Aula*, ³Lisa Fitriyana ST., M.Eng, Dr.

Juny Andry Sulistyo, ST., MT.

Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

**Corresponding Author :*

¹aurynmaida@std.unissula.ac.id , ²fiaaula.fa@gmail.com

Abstrak

Indonesia membutuhkan infrastruktur jalan raya berkualitas serta pembangunan merata namun pembangunan infrastruktur saat ini sering terjadi kerusakan sebelum umur rencana. Penggunaan fly ash sebagai substitusi dari abu batu dan tanah timbunan sebagai substitusi dari pasir dapat mengurangi kerusakan perkerasan jalan. Peneliti melakukan penelitian untuk mendapatkan *Job Mix Formula* dan stabilitas terbaik dari campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) menggunakan bahan *fly ash* sebagai substitusi abu batu dan tanah sebagai substitusi pasir.

Kandungan silika yang terdapat dalam *fly ash*, menunjukkan kemampuan afinitas yang tinggi dan mampu memperbaiki karakteristik komposit *Marshall*. Nilai ketidakrataan pada campuran dapat diperbaiki dengan gradasi tanah timbunan yang seragam. Peneliti menggunakan variasi penambahan *fly ash* dengan presentase 0%, 2%, 4%, 6% dan variasi penambahan tanah timbunan dengan presentase 0%, 1%, 2%, 3%. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Marshall Test*.

Berdasarkan penelitian ini diperoleh hasil, tanah timbunan pilihan yang sesuai untuk substitusi pasir yaitu pada daerah Kapung, Tanggunharjo, Grobogan. Komposisi terbaik terdapat pada modifikasi variasi *fly ash* 6% dan tanah 1% (F6T1) dengan nilai stabilitas 873,71 kg dan nilai *flow* 3,23 mm.

Kata Kunci: *Fly Ash; Tanah; Marshall Test; AC-WC*

Abstract

Indonesia needs quality road infrastructure and equitable development, but current infrastructure development often results in damage before the designed life. The use of fly ash to replace stone ash and backfill soil to replace sand can reduce pavement damage. Researchers conducted research to determine the best job mix formulation and stability of asphalt concrete wearing course (AC-WC) mixes using fly ash as a replacement for stone ash and soil as a replacement for sand.

The silica content contained in fly ash shows high affinity ability and is able to improve the Marshall composite properties. The unevenness value of the mix can be improved by uniform gradation of the backfill soil. Researchers used variations in addition of fly ash with percentage of 0%, 2%, 4%, 6% and variations in addition of backfill soil with percentage of 0%, 1%, 2%, 3%. The test used in this research is the Marshall test.

Based on this research, the results showed that the appropriate choice of backfill soil for sand substitution is in the area of Kapung, Tanggunharjo, Grobogan. The best composition is found in the modification of 6% fly ash variation and 1% soil (F6T1) with a stability value of 873.71 kg and flow value of 3.23 mm.

Key words: *Fly Ash; Soil; Marshall Test; AC-WC*

1. PENDAHULUAN

Dalam peningkatan konektivitas, mobilitas serta pertumbuhan ekonomi suatu negara, infrastruktur jalan merupakan bagian integral yang sangat berperan penting. Salah satu komponen utama dalam sebuah perancangan dan pembangunan infrastruktur jalan merupakan perkerasan jalan, yang mana bagian lapisan atas jalan berinteraksi langsung dengan beban lalu lintas dan lingkungan sekitar. Perkerasan jalan ini berperan strategis dalam menjamin keamanan, kenyamanan, dan daya tahan jalan terhadap beban yang diterima.

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) merupakan salah satu dari jenis perkerasan jalan dan terus mengalami perkembangan secara luas. AC-WC ini merupakan campuran agregat mineral, aspal bitumen, dan *filler* yang dicampur dan dipadatkan menjadi lapisan perkerasan jalan. Keunggulan mekanis, ketahanan terhadap air, serta kemampuan menyesuaikan diri dengan deformasi membuat aspal beton menjadi pilihan populer dalam pembangunan jalan.

Penelitian dan pengembangan terkait perkerasan jalan aspal beton terus dilakukan guna memahami karakteristik material, performa struktural, serta respons terhadap beban dan kondisi lingkungan. Dalam konteks ini, penelitian ini akan membahas secara komprehensif tentang perkerasan jalan aspal beton (*AC-WC*), dengan mengeksplorasi aspek teknis, material, konstruksi, performa, dan inovasi terbaru yang terkait dengan jenis perkerasan ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA / LANDASAN TEORI

2.1 Perkerasan Jalan Aspal Beton (AC-WC)

Salah satu jenis perkerasan yang paling umum digunakan dalam pembangunan infrastruktur jalan adalah (*Asphalt Concrete – Wearing Course / AC-WC*) atau yang biasa disebut dengan aspal beton. *AC-WC* merupakan campuran dari agregat mineral, aspal, dan *filler* yang dilakukan proses pencampuran dan pemadatan untuk membentuk lapisan atas jalan. Campuran ini memberikan karakteristik mekanis yang baik, seperti ketahanan terhadap beban lalu lintas, kemampuan meredam getaran, dan fleksibilitas dalam mengatasi deformasi. Dari tiga jenis campuran lapis beton aspal AC-WC adalah salah satunya, yang melibatkan AC-BC dan AC-Base sebagai jenis lainnya.

AC-WC merupakan lapis permukaan atas dalam perkerasan jalan dan jika dibandingkan dengan jenis laston lainnya, AC-WC mempunyai tekstur yang paling halus. Struktur agregat pada gradasi menerus mempunyai sedikit rongga pada campuran dibandingkan dengan campuran bergradasi senjang. Dikaarenakan hal itu mengakibatkan pekanya campuran AC-WC terhadap variasi pada proporsi campuran. Berikut adalah persyaratan dari Campuran Laston terdapat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Ketentuan Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		LASTON					
		AC-WC		AC-BC		AC-Base	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar Aspal Efektif (%)	Min.	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan Aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah Tumbukan per Bidang		75				112	
Rongga dalam Campuran (%)	Min.	3,5					
	Maks.	5,0					
Rongga dalam Agregat (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800	
Pelelehan (mm)	Min.	3,0				4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250				300	
Stabilitas Marshall Sisa setelah Perendaman 24 jam , 60 C (%)	Min.	90					
Rongga dalam Campuran pada Kepadatan Membal (%)	Min.	2,5					

Sumber : Bina Marga. 2010

2.2 Fly Ash sebagai Substitusi Abu Batu

Abu terbang adalah produk limbah dari pembakaran batu bara di bidang manufaktur. Sumber energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah batu bara, yang ketika proses pembakaran akan dihasilkan *fly ash*. Mengingat abu terbang yang dihasilkan oleh sejumlah PLTU, PLTU Tanjung Jati Jepara salah satunya. Abu terbang ini ditambahkan ke dalam campuran aspal oleh para peneliti. Sebagian besar komposisi abu terbang adalah silika (SiO_2) dan aluminium silikat (Al_2O_3).

Fly ash ini memiliki sifat aktif dan akan berubah menjadi keras apabila bercampur dengan kapur padam dan air hal ini dinamakan sifat *Pozzolanic*. Untuk meningkatkan ketahanannya pada air, penggunaan *fly ash* pada campuran beton aspal akan sangat membantu. Selain itu, penggunaan *fly ash* juga dapat memperbaiki fleksibilitas, stabilitas dan daya tahan terhadap pengaruh air. Penambahan *fly ash* pada campuran aspal memiliki banyak keunggulan baik untuk meningkatkan *workability*, dan memperbaiki *properties marshall* pada campuran.

Tabel 2. 2 Kebutuhan Kandungan Kimia Abu Terbang (ASTM C 618-05,2003)

Kebutuhan	Kelas		
	N	F	C
<i>Silicon dioxide</i> (SiO_2) plus <i>aluminium oxide</i> (Al_2O_3) plus <i>iron oxide</i> (Fe_2O_3), min, %	70	70	50
<i>Sulfur trioxide</i> (SO_3), maks, %	4.0	5.0	5.0
Moisture, maks, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition (LOI), maks, %	10.0	6.0	6.0

Sumber : ASTM C 618-03, 2003

2.3 Tanah Timbunan Sebagai Substitusi Pasir

Tanah timbunan termasuk kategori timbunan pilihan yang memiliki sifat mengandung tanah pasir (*sandy clay*) atau padas. Tanah yang masuk dalam persyaratan dan akan digunakan sebagai bahan tambah harus memiliki sifat yang dibutuhkan oleh penggunaannya. Tanah timbunan yang dipakai harus memenuhi persyaratan yaitu memiliki nilai kadar

lumpur < 5% dan bahan timbunan pilihan mengandung pasir atau kerikil atau bahan berbutir bersih lainnya serta memiliki nilai Indeks Plastisitas maksimum 6%.

Faktor- faktor utama yang harus diperhitungkan dalam desain timbunan :

- a. Daya dukung dari tanah timbunan
- b. Stabilitas dari tanah timbunan
- c. Kemampuan dalam melayani lalu lintas (*trafficability*)
- d. Penurunan (*settlement*) tanah timbunan
- e. Dan faktor lain, termasuk pengujian tanah yang memenuhi syarat.

Uji laboratorium dilakukan untuk mengetahui parameter tanah sebagai input pada saat analisis. Uji ini dilakukan untuk mengidentifikasi kepadatan, pemadatan, kekuatan, dan kinerja tanah. Pengujian yang dilakukan yaitu:

1. Pemeriksaan Berat Jenis Tanah
2. *Soil Properties*
3. *Atterberg Limit*
4. Hidrometer
5. Uji Kadar Lumpur

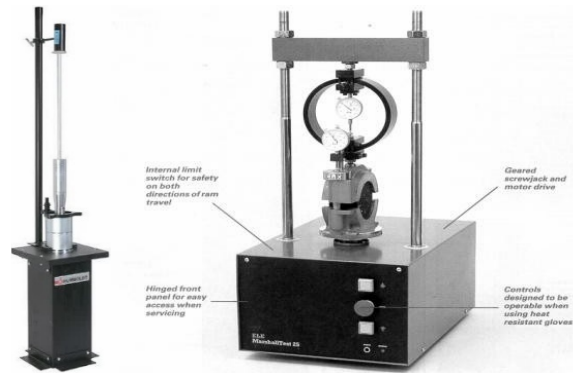
2.4 Marshall Test

Alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) disebut dengan *Marshall Test*. Guna mengukur stabilitas campuran *Proving ring* memiliki arloji pengukur. Lalu untuk mengukur keelehan plastis (*flow*) terdapat arloji keelehan (*flow*). Memiliki diameter 10 cm berbentuk silinder dan tinggi 7,5 cm benda uji ini memiliki alat penumbuk disertai berat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inci (45,7 cm),serta dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit.

Penentuan kinerja dari beton aspal padat dilakukan pengujian yang meliputi (Sukirman 2003) :

1. Menentukan berat volume dari benda uji
2. Menguji nilai stabilitas hingga keelehan plastid.
3. Menguji keelehan (*flow*) hingga batas keruntuhan.
4. Menghitung padatnya berat idi dari campuran aspal.
5. Membandingkan kadar aspal efektif dengan hasil material yang lolos saringan no.200

6. Menganalisis dan melakukan perhitungan setiap jenis volume pori yang ada pada beton aspal padat meliputi VIM, VMA, VFA.
7. Menghitung ketebalan dari selimut aspal.



Gambar 2. 1 *Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test*

Sumber : Google.com

2.5 Uji Karakteristik *Marshall*

Untuk mendapatkan karakteristik serta nilai stabilitas dan *flow* dilakukan pembacaan dial secara langsung, dilakukan pengujian campuran menggunakan *Marshall Test*. Bruce Marshall dari Misisipi State *Highway Department* sekitar tahun 1940-an memperkenalkan metode ini untuk pertama kalinya. Nilai VIM, VMA, VFA dan *marshall quotient* juga akan didapatkan dalam *Marshall Test* ini. Metode *Marshall Test* digunakan untuk menguji campuran aspal beton yang mana ini termasuk dalam penelitian *elastic* modulus.

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga pada tahun 2006 No: 001 - 05 /BM/2006 tentang pemanfaatan Asbuton, kombinasi aspal minyak emulsi dengan aspal panas, menetapkan ketentuan untuk campuran beraspal dingin dengan butiran Asbuton. Spesifikasi hasil pemadatan briket dengan tumbukan 2×50 dapat dilihat pada SNI 06-2489-1991, bersama dengan petunjuk cara pengujian campuran aspal untuk lalu lintas berat dengan menggunakan alat marshall tumbukan 2×75 .

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pengadaan Material

Material yang digunakan untuk penelitian adalah :

1. Penggunaan Material Agregat kasar, Agregat halus, yang digunakan berasal dari PT. Mohandas Oeloeng Kaliwungu.

2. Aspal yang digunakan yaitu Aspal Pen 60/70.
3. Tanah Timbun ini akan diambil dari daerah Kapung, kec. Tanggunharjo, Kab. Grobogan dan Jl. Banjarsari, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah.
4. Bahan yang digunakan sebagai substitusi abu batu adalah *Fly ash* yang didapatkan dari PLTU Tanjung Jati Jepara.

3.2 Pengujian Material

Pengujian material wajib dilakukan sebelum material-material tersebut digunakan untuk campuran dalam pembuatan aspal beton. Maka dari itu sebelum pembuatan benda uji diperlukan data material diantaranya :

Data primer, yang mencakup :

1. Analisa Saringan Agregat
2. Berat Jenis Agregat
3. Uji Karakteristik Tanah

Data sekunder, yang mencakup :

1. Pengujian Aspal Pertamina
2. Pengujian Karakteristik *FlyAsh*

3.3 Perancangan Mix Design

Komposisi Aspal Beton yang direncanakan yaitu Fly Ash dengan kadar 2%, 4%, 6% dan Tanah Timbunan dengan kadar 1%, 2%, 3%. Masing – masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk perbandingan setiap benda uji dimana jika salah satu benda uji ada yang tidak memenuhi spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 dan 2 benda uji lainnya memenuhi spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.

Tabel 2.3 Pehitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

Nama Sampel	Agg. Batu 3/4"		Agg. Batu 1/2"		Abu Batu		Fly Ash		Pasir		Tanah Timbunan		Filler		Aspal		Total Agregat		Jumlah Sampel
	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	
F0T3	300	25	300	25	480	40	0	0	0	0	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	3
F0T2	300	25	300	25	480	40	0	0	12	1	0,24	2	14,4	1,2	69,6	5,8	1176,24	100	3
F0T1	300	25	300	25	480	40	0	0	24	2	0,24	1	14,4	1,2	69,6	5,8	1188,24	100	3
F0T0	300	25	300	25	480	40	0	0	36	3	0	0	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	3
F2T3	300	25	300	25	470,4	40	9,6	2	0	0	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	3
F2T2	300	25	300	25	470,4	38	9,6	2	12	1	0,24	2	14,4	1,2	69,6	5,8	1176,24	100	3
F2T1	300	25	300	25	470,4	38	9,6	2	24	2	0,24	1	14,4	1,2	69,6	5,8	1188,24	100	3
F2T0	300	25	300	25	470,4	38	9,6	2	36	3	0	0	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	3
F4T3	300	25	300	25	460,8	36	19,2	4	0	0	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	3
F4T2	300	25	300	25	460,8	36	19,2	4	12	1	0,24	2	14,4	1,2	69,6	5,8	1176,24	100	3
F4T1	300	25	300	25	460,8	36	19,2	4	24	2	0,24	1	14,4	1,2	69,6	5,8	1188,24	100	3
F4T0	300	25	300	25	460,8	36	19,2	4	36	3	0	0	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	3
F6T3	300	25	300	25	451,2	34	28,8	6	0	0	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	3
F6T2	300	25	300	25	451,2	34	28,8	6	12	1	0,24	2	14,4	1,2	69,6	5,8	1176,24	100	3
F6T1	300	25	300	25	451,2	34	28,8	6	24	2	0,24	1	14,4	1,2	69,6	5,8	1188,24	100	3
F6T0	300	25	300	25	451,2	34	28,8	6	36	3	0	0	14,4	1,2	69,6	5,8	1200	100	3
TOTAL SAMPEL																			48

3.4 Pembuatan Benda Uji

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian. Kemudian menentukan persentase masing-masing material yang digunakan agar mempermudah dalam proses pencampuran dan melakukan penimbangan secara kumulatif agar didapatkan proporsi campuran yang tepat.
2. Memisahkan setiap agregat ke dalam fraksi-fraksi yang telah ditentukan dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan.
3. Pencampuran benda uji
 - Total dari setiap benda uji diperlukan agregat dan aspal sebanyak ± 1200 gram yang mana akan dibuat benda uji dengan tinggi kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$ ($2,5 \pm 0,05$ inc).
 - Memanaskan agregat sampai suhu 150°C .
 - Menuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kelelehan sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan, kemudian aduk dengan cepat sampai agregat tercampur aspal dengan merata.
4. Pemadatan benda uji
 - Membersihkan perlengkapan dari cetakan yang akan digunakan untuk membuat benda uji dan panaskan hingga mencapai suhu antara $90^\circ\text{C} - 150^\circ\text{C}$.
 - Meletakkan cetakan pada atas landasan pemadat dan tahan menggunakan pemegang cetakan.
 - Meletakkan kertas saring atau kertas penghisap sesuai dengan ukuran dasar cetakan.
 - Memasukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan padatkan dengan menusuk-nusuk campuran menggunakan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali sekeliling pinggirannya dan 10 kali bagian tengahnya.

-
- Letakkan kertas saring atau kertas penghisap yang sesuai dengan ukuran cetakan pada atas permukaan benda uji.
 - Memadatkan campuran menggunakan temperatur yang disesuaikan dengan kekentalan aspal yang digunakan dengan jumlah tumbukan 75 kali untuk sisi atas dan 75 kali untuk sisi bawah.
 - Setelah kira-kira temperatur sudah tidak terlalu panas, keluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan alat *Extruder* dan letakkan benda uji pada permukaan yang rata serta beri tanda pengenal untuk setiap benda uji lalu biarkan selama 24 jam pada temperatur ruang.

3.5 Pengujian Benda Uji

Prosedur pengujian sampel *Marshall test* harus sesuai dengan prosedur yang dikeluarkan oleh RSNI M-01-2003.

1. Alat uji Marshall merupakan alat uji listrik yang memiliki kekuatan 220 volt dan dirancang untuk memberikan beban pada sampel untuk uji *semi circular testing head* dengan kecepatan konstan 51 mm (2 inci) permenit. Untuk mengukur stabilitas pada beban pengujian tertinggi, alat ini dilengkapi dengan proving ring dengan arloji tekan. Selain itu, dilengkapi dengan *flow* meter, atau arloji kelelahan, yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kelelahan pada beban pengujian yang paling tinggi.
2. *Water Bath*, sebuah alat yang dilengkapi pengaturan suhu minimum 20 °C dan memiliki kedalaman 150 mm (6 inch) serta dilengkapi rak bawah 50 mm.
3. *Thermometer*, alat pengukur suhu air dalam water bath yang mampu menahan suhu sampai ± 200 °C.

Setelah uji Marshall dilakukan, maka dilanjutkan dengan perhitungan untuk menentukan :

- *Marshall Quotient*, adalah *ratio* antara nilai stabilitas dan kelelahan
- Berat volume benda uji
- Volume pori dalam benda uji (VIM)
- Volume antara agregat dalam benda uji (VMA)
- Volume antara agregat yang terisi oleh aspal (VFB)
- Tebal selimut aspal

3.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan cara melakukan perhitungan pada hasil pengujian marshall untuk mengetahui stability, flow, VIM,VMA,VFB, dan MQ. Setelah dilakukan analisis terhadap seluruh data, didapatkan kesimpulan dari seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan.

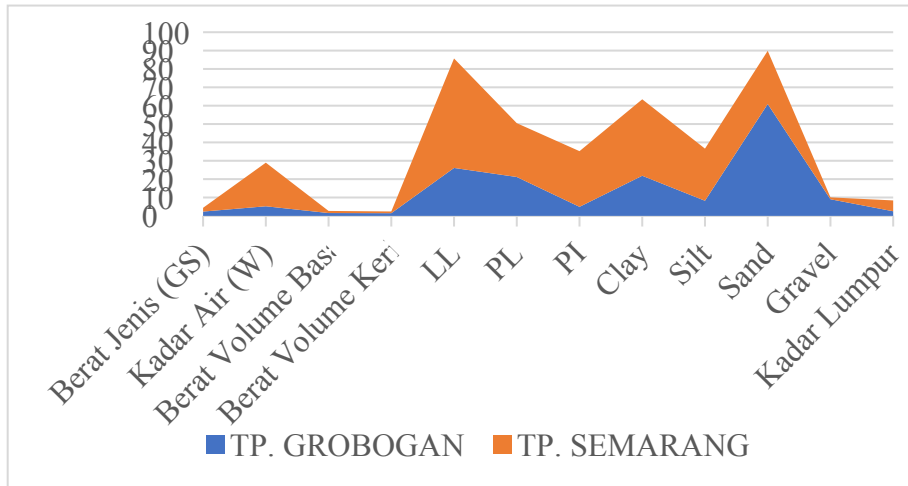
4. HASIL PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Tanah Timbunan

Pada penelitian ini diambil dua tanah yang berbeda lokasi untuk mendapatkan perbandingan tanah yang terbaik untuk dijadikan campuran aspal. Lokasi pertama yaitu di Jl. Banjarsari, Tembalang, Kecamatan Tembalang, Semarang dan lokasi kedua berada di daerah Kapung, Kecamatan Tanggunharjo, Kabupaten Grobogan. Selanjutnya tanah diuji di laboratorium dengan 5 pengujian yaitu uji berat jenis (GS), *soil properties*, *Atterberg Limits* (ATL), hidrometer, dan kadar lumpur. Dari hasil pengujian tersebut akan didapatkan tanah yang terbaik yang mampu disubstitusikan dengan pasir. Berikut ini merupakan tabel hasil pengujian timbunan pilihan.

Tabel 4.1. Hasil Pemeriksaan Timbunan Pilihan Grobogan dan Semarang

NO	PARAMETER PENGUJIAN	SATUAN	HASIL PENGUJIAN	
			TP. GROBOGAN	TP. SEMARANG
1	Berat Jenis (GS)	gram	2,33	2,05
2	Soil Properties			
	Kadar Air (W)	%	5,22	23,74
	Berat Volume Basah (Yb)	gr/cm ³	1,53	1,15
	Berat Volume Kering (Yk)	gr/cm ³	1,46	0,93
	ATL (Atterberg Limits)			
3	LL	%	26,09	59,61
	PL	%	21,17	29,3
	PI	%	4,92	30,31
	Hidrometer			
4	Clay	%	21,84	41,63
	Silt	%	8,22	28,39
	Sand	%	60,91	28,96
	Gravel	%	9,04	1,02
5	Kadar Lumpur	%	2,5	5,9



Grafik 4.1 Pengujian Timbunan Pilihan Grobogan dan Semarang

Dari semua hasil pengujian dua tanah timbunan pilihan tersebut dipilih tanah timbunan Grobogan yang spesifikasinya menyerupai bahan substitusinya yaitu pasir.

4.2 Pengujian Agregat

Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada **Tabel 4.2.** dengan menggunakan perbandingan berdasarkan dari spesifikasi pemeriksaan jalan NO. 01/MN/BM/1976 Bina Marga.

Tabel 4.2. Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat Kasar				
1	Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-2008	Maks. 40%	14,01%	Memenuhi
2	Kelekatan agregat terhadap aspal pan 60/70	SNI 03-2439-2011	Min. 95%	98%	Memenuhi
3	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791-10	Maks. 10%	8,89%	Memenuhi
4	Material lolos saringan no 200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,6%	Memenuhi
5	Penyerapan air oleh aggregate a. Agregat kasar ½ b. Agregat kasar 3/8	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1,583% 2,064%	Memenuhi
6	Berat jenis (bulk specific gravity) a. Agregat kasar 0,5/1 b. Agregat kasar 1/2	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5%	2,661% 2,652%	Memenuhi

B	Agregat Halus				
1	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1992	Maks. 15%	10,56%	Memenuhi
2	Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%	46,92%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1,583% 2,064%	Memenuhi
4	Berat jenis (bulk specific gravity) a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5%	2,651% 2,652%	Memenuhi

Berdasarkan hasil **Tabel 4.2.** material agregat yang berasal dari (AMP) PT. Mohandas Oeloeng Kendal Setelah dilakukan pengujian hasilnya semua material memenuhi persyaratan spesifikasi 2018, maka agregat dapat digunakan sebagai campuran aspal *AC-WC*.

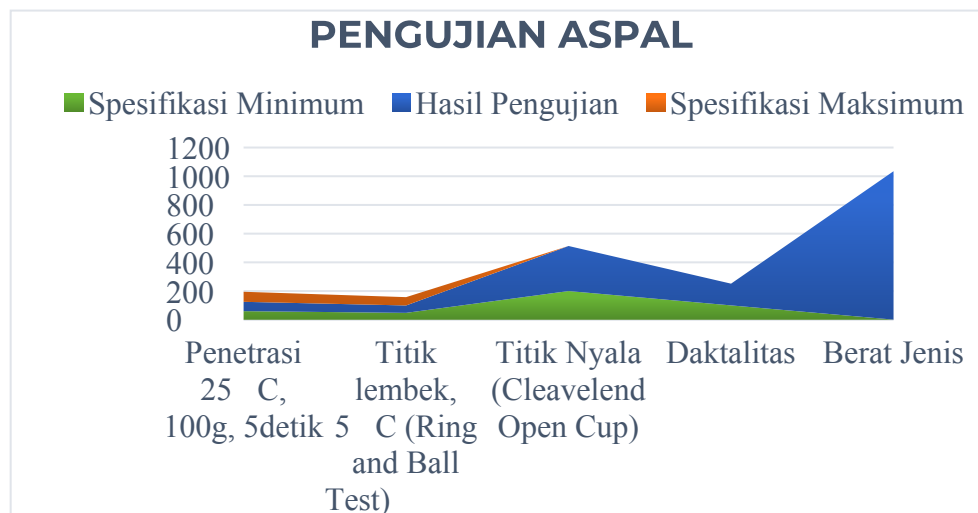
4.3 Pengujian Aspal

Dalam penelitian ini, Aspal Pen 60/70, yang juga terkenal dengan sebutan aspal Pertamina, menjadi fokus utama. Untuk aspal polimer ini, lima aspek khusus diperiksa: penetrasi, massa jenis aspal, titik lembek, kekentalan, serta titik nyala. Parameter-parameter tersebut merupakan indikator penting dari karakteristik campuran aspal polimer yang akan diaplikasikan dalam pembuatan perkerasan lentur. Berdasarkan standar spesifikasi yang tercantum dalam dokumentasi Bina Marga No. 01/MN/BM/1976, hasil analisis terhadap aspal ini disajikan secara rinci dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal PEN 60/70		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Keterangan
			Min	Max			
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65	SNI-06-2456-1991	Memenuhi
2	Titik lembek 5°C (<i>Ring and Ball Test</i>)	°C	48	58	51,55	SNI-06-2434-1991	Memenuhi

3	Titik nyala (Cleaveland Open Cup)	°C	Min. 200	-	314	SNI-06-2433-1991	Memenuhi
4	Daktalitas		Min. 100	-	151,5	SNI-06-2432-1991	Memenuhi
5	Berat jenis	%	Min. 1,0	-	1034	SNI-06-2432-1991	Memenuhi



Grafik 4.2 Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

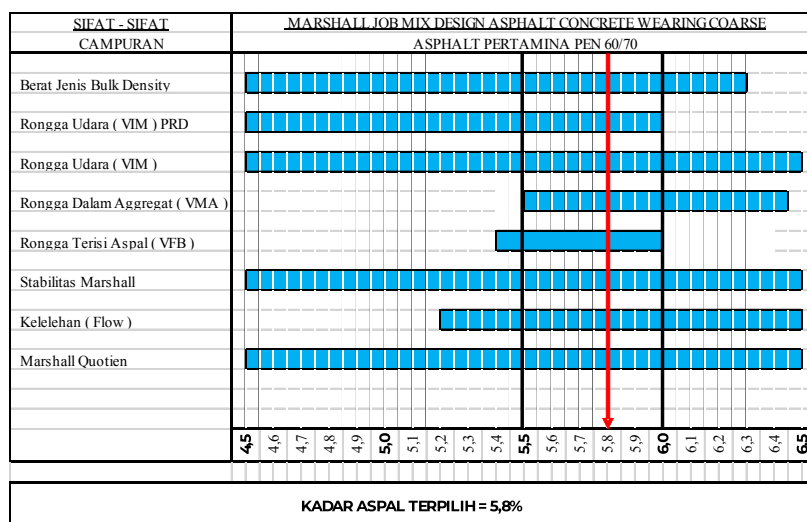
4.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Tabel 4.3. Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Karakteristik Marshall Campuran Beraspal		Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)
Spesifikasi	Min	800	3	250	3	15	65
	Maks	-	-	-	5	-	-
4,5		2896.02	2.30	1259.14	6.14	15.09	59.33
		2797.85	2.40	1165.77	5.65	14.65	61.41
		2856.75	2.15	1328.72	5,89	14.86	60.37
Rata-Rata		2850.20	2.28	1248.26	5,89	14.87	60.37
5		3190.53	2.80	1139.47	5,07	16.30	68.88
		3043.27	2.90	1049.40	5.00	16.24	69.23
		3141.44	2.70	1163.50	5.11	16.34	68.71
Rata-Rata		3125.08	2.80	1116.10	5.06	16.29	68.94

5,5	2748.76	3.30	832.96	5.00	17.45	71.33
	2699.68	3.50	771.34	4.68	17.18	72.73
	2738.94	3.40	805.57	4.67	17.17	72.79
Rata-Rata	2729.13	3.40	802.68	4.79	17.27	72.28
6	2414.98	4.00	603.75	4.62	17.26	73.24
	2385.53	4.20	567.98	4.10	16.81	75.61
	2454.25	4.10	598.60	4.79	17.41	72.48
Rata-Rata	2418.25	4.10	589.82	4.50	17.16	73.78
6.5	2385,53	4,60	518,59	4,06	16,78	75,82
	2444,43	4,50	543,21	4,07	16,79	75,75
	2454,25	4,40	557,78	4,02	16,75	76,01
Rata-Rata	2428,07	4,50	569,57	4,05	16,77	75,86

Berdasarkan **Tabel 4.3.** hasil pengujian untuk penentuan kadar aspal optimum diperoleh pada kadar aspal 5,8% sedangkan untuk kadar aspal efektif pada kadar 5,5% dan 6%. Hal tersebut berdasarkan nilai rongga udara (VIM) dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *marshall* diatas yang memenuhi spesifikasi binamarga dengan nilai 3.00 – 5.00.



Gambar 4.1. Penentuan Kadar Aspal Optimum

4.5 Job Mix Design

Tabel 4.4. Komposisi Material AC-WC

Jenis Material	Komposisi	Berat	Kumulatif
----------------	-----------	-------	-----------

<i>Course Agg. (1/2')</i>	25 %	300	300
<i>Medium Agg. (3/8')</i>	25 %	300	300
Abu Batu	40 %	516	1080
Pasir	3 %	36	1116
<i>Filler Semen</i>	1,2 %	14,4	1130.4
Aspal	5,8 %	69,6	1200

Dari hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) didapatkan hasil kadar aspal terpilih sebesar 5,8% dan dengan modifikasi *fly ash* (substitusi abu batu) dan tanah (substitusi pasir). Terdapat 16 variasi dengan setiap variasi dibuat sebanyak 3 benda uji, sehingga benda yang dihasilkan sebanyak 48 sampel.

Tabel 4.5. Rincian Benda Uji

No.	Variasi	Benda Uji
1	F0T3 (<i>Fly ash</i> 0%, Tanah 3%)	3
2	F0T2 (<i>Fly ash</i> 0%, Tanah 2%)	3
3	F0T1 (<i>Fly ash</i> 0%, Tanah 1%)	3
4	F0T0 (<i>Fly ash</i> 0%, Tanah 0%)	3
5	F2T3 (<i>Fly ash</i> 2%, Tanah 3%)	3
6	F2T2 (<i>Fly ash</i> 2%, Tanah 2%)	3
7	F2T1 (<i>Fly ash</i> 2%, Tanah 1%)	3
8	F2T0 (<i>Fly ash</i> 2%, Tanah 0%)	3
9	F4T3 (<i>Fly ash</i> 4%, Tanah 3%)	3
10	F4T2 (<i>Fly ash</i> 4%, Tanah 2%)	3
11	F4T1 (<i>Fly ash</i> 4%, Tanah 1%)	3
12	F4T0 (<i>Fly ash</i> 4%, Tanah 0%)	3
13	F6T3 (<i>Fly ash</i> 6%, Tanah 3%)	3
14	F6T2 (<i>Fly ash</i> 6%, Tanah 2%)	3
15	F6T1 (<i>Fly ash</i> 6%, Tanah 1%)	3
16	F6T0 (<i>Fly ash</i> 6%, Tanah 0%)	3
TOTAL SAMPEL		48

Pada pembuatan benda uji setiap variasi dibuat 3 buah sampel untuk dilakukan perbandingan apabila salah satu sampel ada yang tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi 2 dan 2 sampel lainnya memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi 2 maka dapat dibandingkan hasilnya dari ketiga sampel tersebut.

4.6 Hasil Pemeriksaan *Marshall Test*

Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji komposisi modifikasi *fly ash* (substitusi abu batu) dan tanah (substitusi pasir) dengan 16 variasi dan setiap variasi ada 3 benda uji. Dengan perolehan nilai marshall dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6. Hasil *Marshall* Modifikasi

Pengujian (modifikasi tanah dan Fly Ash)														
BJ Aspal (T) : 1,034			BJ Total Agg (Gsb) : 2,749											
BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2,516			Kalibrasi Proving Ring 9,817 Kg											
no	kadar	berat	berat	berat	volume	bi. Bulk	bi. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	komposisi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji						camp. Agg	agg (vma)	amp (vma)	aspal (vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(m / n)	
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-i)				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100 * e)	i				m / n
	campuran							gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
F0T3 BU 1	5,8	1186,6	700,6	1196,2	495,6	2,394	2,571	17,96	6,88	61,66	135	1325,30	2,60	509,73
F0T3 BU 2	5,8	1194,4	687,8	1198,4	510,6	2,339	2,571	19,84	9,02	54,52	120	1178,04	2,60	453,09
F0T3 BU 3	5,8	1190,4	680,2	1194,6	514,4	2,314	2,571	20,70	10,00	51,70	116	1138,77	2,70	421,77
Rata-rata	5,8					2,349	2,571	19,50	8,64	55,96	123,67	1214,04	2,63	461,03
F0T2 BU 1	5,8	1209,2	706,6	1217,6	511,0	2,366	2,531	18,91	6,52	65,52	84	824,63	2,90	284,35
F0T2 BU 2	5,8	1197,2	690,8	1212,2	521,4	2,296	2,531	21,32	9,30	56,40	53	520,30	2,80	185,82
F0T2 BU 3	5,8	1199,2	701,4	1208,6	507,2	2,364	2,531	18,98	6,60	65,23	92	903,16	3,00	301,05
Rata-rata	5,8					2,342	2,531	19,74	7,47	62,38	76,33	749,36	2,90	258,40
F0T1 BU 1	5,8	1198,6	705,4	1210,8	505,4	2,372	2,489	18,73	4,71	74,88	86	844,26	3,10	272,34
F0T1 BU 2	5,8	1196,6	686,4	1210,8	524,4	2,282	2,489	21,81	8,31	61,88	78	765,73	2,90	264,04
F0T1 BU 3	5,8	1191,0	684,2	1206,0	521,8	2,282	2,489	21,79	8,29	61,96	80	785,36	3,10	253,34
Rata-rata	5,8					2,312	2,489	20,78	7,10	66,24	81,33	798,46	3,03	263,23
F0T0 BU 1	5,8	1198,6	706,2	1203,2	497,0	2,412	2,532	17,36	4,76	72,61	100	981,70	3,20	306,78
F0T0 BU 2	5,8	1169,2	683,4	1180,0	496,6	2,354	2,532	19,32	7,02	63,68	55	539,94	3,10	174,17
F0T0 BU 3	5,8	1174,4	690,2	1179,6	489,4	2,400	2,532	17,77	5,23	70,57	88	863,90	3,40	254,09
Rata-rata	5,8					2,389	2,532	18,15	5,67	68,95	81,00	795,18	3,23	246,93

Pengujian (modifikasi tanah dan Fly Ash)														
BJ Aspal (T) : 1,034			BJ Total Agg (Gsb) : 2,749											
BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2,516			Kalibrasi Proving Ring 9,817 Kg											
no	kadar	berat	berat	berat	volume	bi. Bulk	bi. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	komposisi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji						camp. Agg	agg (vma)	amp (vma)	aspal (vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(m / n)	
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-i)				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100 * e)	i				m / n
	campuran							gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
F2T3 BU 1	5,8	1189,4	707,6	1193,6	486,0	2,447	2,548	16,14	3,96	75,47	75	736,28	3,50	210,36
F2T3 BU 2	5,8	1176,4	696,2	1181,0	484,8	2,427	2,548	16,85	4,77	71,67	70	687,19	3,40	202,11
F2T3 BU 3	5,8	1195,8	630,2	1201,8	571,6	2,092	2,548	28,31	17,90	36,77	55	539,94	3,80	142,09
Rata-rata	5,8					2,322	2,548	20,43	8,88	61,31	66,67	654,47	3,57	183,50
F2T2 BU 1	5,8	1187,6	702,2	1192,4	490,2	2,423	2,561	16,98	5,39	68,23	80	785,36	2,90	270,81
F2T2 BU 2	5,8	1190,4	691,0	1196,6	505,6	2,354	2,561	19,32	8,06	58,28	70	687,19	2,80	245,43
F2T2 BU 3	5,8	1179,6	697,8	1183,8	486,0	2,427	2,561	16,83	5,22	68,98	63	618,47	3,00	206,16
Rata-rata	5,8					2,401	2,561	17,71	6,23	65,16	71,00	697,01	2,90	240,35
F2T1 BU 1	5,8	1166,4	682,4	1176,6	494,2	2,360	2,602	19,12	9,31	51,32	70	687,19	3,10	221,67
F2T1 BU 2	5,8	1170,4	687,8	1177,2	489,4	2,391	2,602	18,05	8,11	55,10	90	883,53	2,90	304,67
F2T1 BU 3	5,8	1182,4	697,6	1188,6	491,0	2,408	2,602	17,48	7,47	57,29	80	785,36	3,10	253,34
Rata-rata	5,8					2,387	2,602	18,22	8,29	54,57	80,00	785,36	3,03	258,91
F2T0 BU 1	5,8	1183,4	692,4	1198,4	506,0	2,339	2,615	19,86	10,57	46,77	50	490,85	3,20	153,39
F2T0 BU 2	5,8	1180,2	689,8	1193,8	504,0	2,342	2,615	19,76	10,46	47,07	60	589,02	3,10	190,01
F2T0 BU 3	5,8	1178,2	688,6	1185,8	497,2	2,370	2,615	18,80	9,39	50,06	80	785,36	3,40	230,99
Rata-rata	5,8					2,350	2,615	19,47	10,14	47,97	63,33	621,74	3,23	192,29

Pengujian (modifikasi tanah dan Fly Ash)														
BJ Aspal (T) : 1,034					BJ Total Agg (Gsb) : 2,749									
BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2,516					Kalibrasi Proving Ring : 9,817 Kg									
no	kadar	berat	berat	berat	volume	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji								camp. Agg	agg (vma)	camp (vima)	aspal (vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100 (i - j)				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - h)g	(100 * e)	i				m / n
	campuran							gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
F4T3 BU 1	5,8	1183,6	704,2	1190,0	485,8	2,436	2,403	16,51	-1,39	108,44	72	706,82	3,50	201,95
F4T3 BU 2	5,8	1180,0	593,8	1189,0	595,2	1,983	2,403	32,06	17,49	45,44	80	785,36	3,40	230,99
F4T3 BU 3	5,8	1174,8	698,8	1187,8	489,0	2,402	2,403	17,68	0,02	99,90	84	824,63	3,80	217,01
Rata-rata	5,8					2,274	2,403	22,08	5,37	84,59	78,67	772,27	3,57	216,52
F4T2 BU 1	5,8	1202,0	715,2	1206,6	491,4	2,446	2,496	16,18	2,00	87,66	95	932,62	3,10	300,84
F4T2 BU 2	5,8	1180,6	699,2	1186,0	486,8	2,425	2,496	16,89	2,83	83,23	72	706,82	2,90	243,73
F4T2 BU 3	5,8	1186,8	704,6	1192,0	487,4	2,435	2,496	16,56	2,44	85,25	90	883,53	3,10	285,01
Rata-rata	5,8					2,435	2,496	16,55	2,42	85,38	85,67	840,99	3,03	277,25
F4T1 BU 1	5,8	1182,0	698,2	1185,6	487,4	2,425	2,333	16,90	-3,93	123,28	85	834,45	3,20	260,76
F4T1 BU 2	5,8	1185,0	697,4	1186,2	488,8	2,424	2,333	16,93	-3,90	123,03	70	687,19	3,10	221,67
F4T1 BU 3	5,8	1179,2	696,4	1185,2	488,8	2,412	2,333	17,33	-3,39	119,56	108	1060,24	3,40	311,83
Rata-rata	5,8					2,421	2,333	17,05	-3,74	121,96	87,67	860,62	3,23	266,17
F4T0 BU 1	5,8	1184,8	704,6	1189,8	485,2	2,442	2,256	16,32	-8,25	150,56	72	706,82	3,50	201,95
F4T0 BU 2	5,8	1191,4	705,4	1199,0	493,6	2,414	2,256	17,29	-7,00	140,51	75	736,28	3,40	216,55
F4T0 BU 3	5,8	1181,0	700,6	1183,6	483,0	2,445	2,256	16,21	-8,40	151,80	75	736,28	3,80	193,76
Rata-rata	5,8					2,434	2,256	16,61	-7,88	147,62	74,00	726,46	3,57	203,68

Pengujian (modifikasi tanah dan Fly Ash)														
BJ Aspal (T) : 1,034					BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2,516									
BJ Total Agg (G) : 2,749					Kalibrasi Proving Ring : 9,817 Kg									
no	kadar	berat	berat	berat	volume	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji								camp. Agg	agg (vma)	camp (vima)	aspal (vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100 (i - j)				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - h)g	(100 * e)	i				m / n
	campuran							gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
F6T3 BU 1	5,8	1184,4	690,6	1189,4	498,8	2,374	2,346	18,63	-1,23	106,58	58	569,39	2,90	196,34
F6T3 BU 2	5,8	1181,8	690,4	1190,8	500,4	2,362	2,346	19,07	-0,68	103,57	47	461,40	2,80	164,79
F6T3 BU 3	5,8	1158,8	691,4	1190,2	498,8	2,323	2,346	20,39	0,96	95,28	60	589,02	3,00	196,34
Rata-rata	5,8					2,353	2,346	19,37	-0,31	101,81	55,00	539,94	2,90	186,18
F6T2 BU 1	5,8	1175,2	694,8	1186,0	491,2	2,393	2,404	18,02	0,49	97,26	97	952,25	3,10	307,18
F6T2 BU 2	5,8	1191,8	707,2	1199,0	491,8	2,423	2,404	16,96	-0,79	104,65	96	942,43	2,90	324,98
F6T2 BU 3	5,8	1183,6	702,4	1189,2	486,8	2,431	2,404	16,68	-1,12	106,73	90	883,53	3,10	285,01
Rata-rata	5,8					2,416	2,404	17,22	-0,47	102,88	94,33	926,07	3,03	305,30
F6T1 BU 1	5,8	1168,6	698,2	1198,0	499,8	2,338	2,451	19,88	4,62	76,76	82	804,99	3,20	251,56
F6T1 BU 2	5,8	1166,4	698,6	1189,6	491,0	2,376	2,451	18,60	3,09	83,37	102	1001,33	3,10	323,01
F6T1 BU 3	5,8	1174,0	695,8	1190,2	494,4	2,375	2,451	18,63	3,13	83,19	83	814,81	3,40	239,65
Rata-rata	5,8					2,363	2,451	19,04	3,62	81,10	89,00	873,71	3,23	270,22
F6T0 BU 1	5,8	1168,6	698,2	1180,4	482,2	2,423	2,501	16,95	3,09	81,76	130	1276,21	3,50	364,63
F6T0 BU 2	5,8	1176,6	705,6	1189,2	483,6	2,433	2,501	16,63	2,71	83,69	110	1079,87	3,40	317,61
F6T0 BU 3	5,8	1185,2	704,8	1191,6	486,8	2,435	2,501	16,57	2,65	84,04	150	1472,55	3,80	387,51
Rata-rata	5,8					2,430	2,501	16,72	2,82	83,16	130,00	1276,21	3,57	357,82

5. SIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian perbandingan dua tanah timbunan pilihan yang dilakukan, didapatkan hasil tanah terbaik yaitu tanah timbunan pilihan dari Kapung, Tanggunharjo, Grobogan dengan nilai Liquid Limit (LL) sebesar 26,09, Index Plastisitas (PI) sebesar 4,92, dan

nilai kadar lumpur sebesar 2,5% yang berarti tanah tersebut memiliki tingkat plastisitas yang rendah jadi mampu untuk dijadikan substitusi pasir.

2. Hasil *job mix formula* pada pengujian marshall yang memenuhi semua parameter yaitu pada variasi F6T1 (*fly ash* 6% dan tanah 1%) dengan nilai rongga udara (VIM) 3,33%, nilai rongga diantara agregat (VMA) 18,80%, rongga terisi aspal (VFB) 82,70%, stabilitas 873,71 kg, kelelahan (flow) 3,23 mm, dan *marshall quention* (MQ) 261,11 kg/mm.

5.2 Saran

Agar penelitian mendapatkan hasil sesuai apa yang diinginkan serta merekomendasikan untuk penelitian selanjutnya, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, diantaranya :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk modifikasi variasi kadar *fly ash* dan tanah.
2. Merealisasikan penghamparan di lapangan dari hasil *job mix formula* terbaik yang didapat untuk menyesuaikan komposisi yang telah dibuat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adriyan, C. P., & Januarti, J. E. (2021). Penggunaan Fly Ash sebagai Agregat Buatan Pengganti Agregat Alami pada Campuran Beton. Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas, Volume 5 (2).
- [2] Affandi. (2006) Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Dengan Bitumen Hasil Ekstrasi. Universitas Diponegoro.
- [3] Arya, T., Raka, P., & Sapta, N. (2016). Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks. Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil, Volume 22 (2).
- [4] ASTM C 618-05 (2003) Standard Specification For Coal Fly Ash Andraw Or Calcined Natural Pozzolan For Use As A Mineral Admixture In Concrete, 2003.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-2417-2008, Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles, Jakarta, 2008.
- [6] Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-2439-2011, Metode Pengujian Kelekatan Agregat terhadap aspal pen 60/70, Jakarta, 2011.
- [7] Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran, Jakarta, 1991.

-
- [8] Delli, N. R., Susi, R., Dona, R. S., & Muhammad, A. (2022). Penambahan Fly Ash Batu Bara PLTU Sebagai Filler Aspal AC WC. Jurnal Teknik Sipil Universitas Tamansiswa Palembang, Volume 7 (4).
- [9] Heronimus, L., Stefanus, T. B., David, W., & Widja, S. (2019). Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus Dengan Abu Batu Dan Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton. Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang, Volume 3(1).
- [10] Masahiro Mesias. (2022). Analisa Pengaruh Penggunaan Filler Pada Perkerasan Jalan (AC-WC) Terhadap Nilai Marshall. Teknik Sipil Universitas Medan Area.
- [11] Pradana, F. Y., dan Kliswanto, M. S. (2023). Analisis Perbandingan Aspal Wearing Course (AC-WC) Dengan Buton Granular Aspal (BGA) 15/20 Pada Penetrasi 60/70 Menggunakan Fly Ash Terhadap Uji Parameter Aspal. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- [12] Rakhmat. (2021). Analisis Karakteristik Aspal Beton (AC-WC) Menggunakan Bahan Tambah Dengan Variasi Shu Campuran. Teknik Sipil Universitas Bosowa Makassar
- Ray Nofriandi. (2020). Pengaruh Penambahan Abu Batang Jagung Terhadap Karakteristik Marshall Pada Aspal AC-WC. Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
- [13] S. Ali. (2006). Karakteristik Marshall Hot Rolled Sheet Base (HRS-Base) Dengan Filler Batu Kapur Jayapura.
- [14] Satria, A. B. S., Yosef, C. S. P., Ahmad, R., & Agata, I. C. (2019). Penelitian Penambahan Serbuk Bata Merah Dan Pasir Brantas Pada Aspal Beton. Jurmateks, Volume 2 (2).
- [15] Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018 Revisi 2, Perkerasan Konstruksi Jalan dan Jembatan, 2018.
- [16] Sulistyio, Juny Andry. (2023). Perilaku Aspal Wearing Course Terhadap Pengaruh Rendaman Air Pasang (ROB) Dengan Bahan Tambah Polythylene Dan Fine Agregat Slag. (Disertasi Doktoral, Universitas Islam Sultan Agung Semarang)
- [17] Sukirman., Silvia. (1999). Dasar – Dasar Perencanaan Geometrik Jalan. Universitas Siliwangi.
- [18] Syaiful dan S. Mulyawan. (2013). Analisa Tingkat Pemahaman Pemangku Kepentingan Terkait Penerapan Konsep Green Road Di Kabupaten Sorong.