



PENGARUH PENGGUNAAN ABU AMPAS TEBU SEBAGAI FILLER UNTUK CAMPURAN LASTON LAPIS ANTARA (AC BC) TERHADAP NILAI KARAKTERISTIK MARSHALL

Rangga Sihabudin¹, Edison Hatoguan Manurung², Abdul Mubarok³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan,
Universitas Mpu Tantular Jakarta

Email: Rangga.sihabudin@gmail.com¹, Edisonmanurung2010@yahoo.com²,
akangmubarok77@gmail.com³

Abstrak

Penelitian didasari pada pentingnya pemilihan material yang sesuai spesifikasi dalam campuran aspal beton guna meningkatkan kinerja perkerasan jalan. Filler umumnya menggunakan semen Portland, namun ketersediaannya yang terbatas serta harga yang relatif tinggi mendorong pemanfaatan material alternatif. Abu ampas tebu (AAT) dipilih karena memiliki kandungan kimia yang menyerupai semen Portland, yaitu silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan ferrit (Fe_2O_3), serta dapat berfungsi sebagai material pozzolan. Tujuan penelitian ini adalah menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), mengetahui pengaruh substitusi AAT sebagai filler terhadap nilai karakteristik Marshall, serta mengidentifikasi kadar AAT yang paling optimum berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Metodologi yang digunakan berupa pengujian Marshall terhadap campuran AC-BC dengan variasi kadar aspal 4,5%; 5%; dan 6%, serta variasi filler AAT sebesar 20%, 40%, 60%, dan 80% yang disubstitusikan terhadap semen Portland. Tahapan penelitian meliputi persiapan material, pengujian sifat fisik agregat, aspal, dan filler, pembuatan benda uji, serta uji Marshall untuk memperoleh nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, dan Marshall Quotient (MQ). Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan bahwa pemanfaatan AAT sebagai filler mampu meningkatkan performa campuran aspal, memenuhi standar yang ditetapkan, serta menjadi alternatif ramah lingkungan dalam pemanfaatan limbah industri gula. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap upaya peningkatan kualitas perkerasan jalan sekaligus mendukung pemanfaatan limbah sebagai material konstruksi.

Kata kunci : Abu Ampas Tebu, Filler, AC-BC, Karakteristik Marshall, Perkerasan Jalan

Abstract

The research is based on the importance of selecting materials that meet specifications in asphalt concrete mixtures to improve road pavement performance. Portland cement is commonly used as filler; however, its limited availability and relatively high cost encourage the use of alternative materials. Sugarcane bagasse ash (SBA) was selected because it contains chemical compounds similar to Portland cement, such as silica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), and ferrite (Fe_2O_3), and it also exhibits pozzolanic properties. The objectives of this research are to determine the Optimum Asphalt Content (OAC), to identify the effect of substituting SBA as filler on Marshall characteristics, and to determine the optimum SBA

Article History

Received: September 2025

Reviewed: September 2025

Published: September 2025

Plagiarism Checker No 234

Prefix DOI : Prefix DOI :

10.8734/Koehsi.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Koehsi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



content that meets the 2018 Bina Marga General Specifications (Revision 2). The methodology involves Marshall testing on AC-BC mixtures with asphalt content variations of 4.5%, 5%, and 6%, and SBA filler variations of 20%, 40%, 60%, and 80% substituted for Portland cement. The research stages include material preparation, testing of physical properties of aggregates, asphalt, and filler, specimen preparation, and Marshall testing to obtain stability, flow, VIM, VMA, VFA, and Marshall Quotient (MQ) values. The results are expected to show that utilizing SBA as filler can enhance asphalt mixture performance, comply with required standards, and serve as an environmentally friendly alternative in reusing sugar industry waste. Thus, this study contributes to improving pavement quality while supporting the sustainable use of waste materials in construction.

Keywords : *Sugarcane Bagasse Ash, Filler, AC-BC, Marshall Characteristics, Pavement*

PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan salah satu sarana transportasi darat yang membentuk suatu jaringan transportasi untuk menghubungkan satu wilayah ke wilayah lain agar membantu perekonomian dan pembangunan berlangsung dengan baik. Dalam perencanaan jalan hal dasar yang sudah ada ialah permukaan tanah dasar. Tanah dasar tidak cukup mampu untuk menahan dan memikul beban berulang dari volume lalu lintas kendaraan yang ada. Oleh karena itu, diperlukan suatu struktur yang kuat untuk melindungi tanah dasar dari beban roda kendaraan. Perkerasan berfungsi sebagai pelindung tanah dasar dan lapisan - lapisan pembentuk perkerasan dari terjadinya tegangan dan regangan yang besar diakibatkan oleh beban volume lalu lintas kendaraan.

Kondisi jalan sangat berdampak pada kelancaran aktivitas di berbagai bidang. Banyak ragam perkerasan jalan telah digunakan, perkerasan lentur dengan lapis permukaan Aspal Beton (Laston) salah satunya. Aspal beton sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penggunaannya pun di Indonesia dari tahun ke tahun makin meningkat. Aspal beton terdiri dari tiga macam lapisan, yaitu *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)*, *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)*, dan *Asphalt Concrete - Base (AC-Base)*.

Ada banyak penelitian yang telah diupayakan untuk meningkatkan ketahanan dari perkerasan jalan, yaitu melakukan perubahan terhadap perilaku fisik dan kimiawi pada perkerasan jalan dengan alternatif mengganti salah satu material penyusun dengan material lain, salah satunya yaitu mengganti bahan pengisi (*filler*) aspal. Bahan yang paling cocok untuk dijadikan bahan pengisi (*filler*) aspal adalah semen *portland* karena memiliki kandungan yang dapat meningkatkan daya ikat dan stabilitas. Alternatif material lain yang dapat dijadikan sebagai bahan pengisi (*filler*) aspal adalah menggunakan abu ampas tebu.

Tebu atau *Saccharum officinarum linn* merupakan salah satu tanaman yang ditanam untuk bahan baku pembuatan gula yang tumbuh di daerah beriklim tropis, terutama di pulau Jawa dan Sumatera. Bagian dari tebu yang banyak dimanfaatkan adalah batang tebu. banyak peneliti menguji kandungan dari ampas tebu dengan alternatif yang berbeda, salah satunya dengan proses pembakaran ampas tebu menjadi abu ampas tebu. Abu ampas tebu mengandung silica (SiO_2), aluminat (Al_2O_3), *ferrit* (Fe_2O_3) yang merupakan bahan utama pembentuk semen *Portland*. Kandungan abu ampas tebu yang menyerupai kandungan pada semen *Portland* menjadikan abu ampas tebu dapat dijadikan alternatif sebagai *filler* untuk campuran aspal. Penggunaan abu ampas tebu sebagai bahan pengisi (*filler*) dapat memperkecil biaya material dan dapat dikategorikan dalam hal pemanfaatan limbah sisa konsumsi.



TINJAUAN PUSTAKA

1. Perkerasan Jalan

Perkerasan/*pavement* atau lapis keras adalah lapis tambahan diantara tanah dan roda yang tersusun dari bahan khusus yang terpilih dan baik dengan tujuan untuk mengurangi deformasi tanah yang biasanya tidak cukup kuat dan tahan terhadap suatu beban. Perkerasan jalan adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti (Sukirman, 2003).

Perkerasan jalan raya adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas.

2. Agregat

Agregat atau batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. Agregat merupakan sekumpulan butir - butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan. Proporsi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*) harus berdasarkan spesifikasi dan gradasi yang tersedia. Jumlah agregat di dalam campuran aspal biasanya 90 sampai 95 persen atau 75 sampai 85 persen dari volume. Penyerapan air oleh agregat maksimum 2 persen untuk SMA (*Stone Matrix Asphalt*) dan 3 persen untuk yang lainnya, dengan berat jenis (*specific gravity*) tidak boleh lebih dari 0,2. Berdasarkan ukuran butirannya, agregat dapat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Dengan pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi syarat akan menentukan keberhasilan pembangunan jalan.

3. Aspal

Aspal adalah bahan alam dengan komponen kimia hidrokarbon, hasil eksplorasi dengan warna hitam bersifat plastis hingga cair, tidak larut dalam larutan asam encer dan alkali atau air, tapi larut sebagian besar dalam aether, CS₂ bensol dan chloroform (Saodang, 2005). Bahan aspal merupakan bahan pengikat yang harus dicampur dengan agregat sehingga menghasilkan campuran beraspal sesuai dengan spesifikasi yang diisyaratkan.

Fungsi aspal dalam perkerasan beraspal adalah sebagai bahan pengikat agar agregat tidak mudah lepas akibat lalu lintas dan lingkungan. Selain itu aspal juga berfungsi sebagai lapis kedap yang melindungi agregat dan material lain di bawahnya dari pengaruh air. Aspal yang digunakan untuk bahan perkerasan jalan (Saodang, 2005), terdiri beberapa jenis yaitu: **Aspal alam** berbentuk apabila deposit minyak mentah dalam perut bumi terdestilasi secara alami, dan **Aspal minyak (*petroleum asphalt*)** berbentuk padat atau semi-padat sebagai cikal bakal bitumen yang diperoleh dari penirisan minyak.

4. Bahan Pengisi (*Filler*)

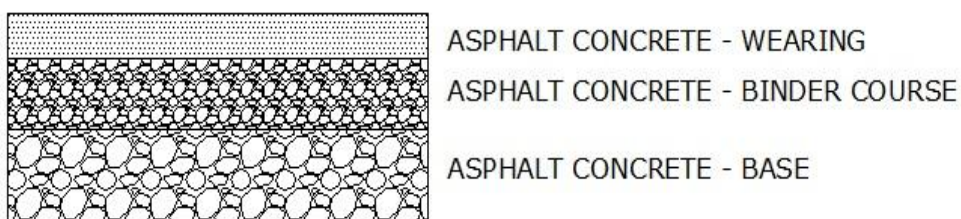
Filler adalah mineral paling halus dari agregat beton aspal, berukuran kurang dari saringan nomor 200, dan tidak boleh mengandung kelembapan. Bahan yang paling cocok untuk *filler* adalah semen Portland yang bebas kelembapan, karena dikemas didalam karung. Bebas kelembapan ini penting karena *filler* tidak melewati mesin pemanas, masuk langsung ke *pugmill* melalui *screw intrusion*. *Filler* adalah bahan penambah pada proses pencampuran antara agregat dengan aspal yang berfungsi untuk menutup pori - pori yang ada pada permukaan aspal yang disebabkan karena kurangnya campuran gradasi agregat pada unit timbangan.

Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*) atau batu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (2014), atau semen atau abu terbang tipe C dan F. Bahan

pengisi yang ditambahkan (*filler added*) untuk semen harus dalam rentang 1% sampai 2% terhadap berat total agregat dan untuk bahan pengisi lainnya harus dalam rentang 1% sampai 3% terhadap berat total agregat kecuali *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Khusus *Stone Matrix Asphalt (SMA)* tidak boleh menggunakan semen.

5. Lapisan *Asphalt Concrete - Binder Course (AC - BC)*

Lapisan AC - BC (*Asphalt Concrete - Binder Course*) adalah lapis perkerasan jalan yang berada di atas lapis aspal pondasi atas dan berada di bawah lapis aspal aus. Lapis *Asphalt Concrete - Binder Course (AC - BC)* berfungsi untuk mentransfer beban lalu lintas yang diterima dan diteruskan ke lapis aspal pondasi atas. Lapis *Asphalt Concrete - Binder Course (AC - BC)* tidak langsung bersentuhan dengan cuaca, tetapi diharuskan ada ketebalan dan kekakuan yang memadai untuk mencegah tegangan maupun regangan yang diakibatkan oleh pembebanan lalu lintas yang nantinya akan disalurkan dan berpengaruh terhadap lapisan selanjutnya yaitu *Asphalt Concrete - Base (AC - Base)* dan lapis tanah dasar (*Sub Grade*).



Gambar 1 Lapisan Aspal Beton AC-WC, AC-BC, dan AC-Base

Ada beberapa jenis beton aspal campuran panas, namun dalam penelitian ini jenis beton aspal campuran panas yang akan ditinjau adalah AC-BC.

6. Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu merupakan hasil pembakaran dari limbah ampas tebu. Abu ampas tebu mempunyai sifat khusus yaitu mengandung senyawa kimia yang bersifat pozzolan, yaitu mengandung silika (SiO_2), suatu senyawa yang bila dicampur dengan semen dan air dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton pada aspal. (Syarkawi, 2011). Abu ampas tebu adalah abu yang dihasilkan dari proses penggilingan tebu yang sudah diambil niranya, kemudian dibakar sehingga menjadi abu. Abu ampas tebu mengandung senyawa kimia yang bersifat pozzolan, yaitu silika (SiO_2) mencapai 42,47%. Abu ampas tebu diyakini memiliki sifat-sifat yang baik sebagai *filler* pemadat karena memiliki sifat sementasi disamping ukuran butirannya yang relatif kecil (lolos saringan No.200) yang mempermudah dalam menyusup kedalam pori-pori agregat.

7. Beton Aspal Campuran Panas (*Hot Mix*)

Menurut Sukirman (1999), aspal beton campuran panas merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Karena dicampur dalam keadaan panas maka sering kali disebut sebagai *hotmix*. Pekerjaan pencampuran dilakukan di pabrik pencampur, kemudian dibawa ke lokasi dan dihampar dengan mempergunakan alat penghampar sehingga diperoleh lapisan lepas yang seragam dan merata untuk selanjutnya dipadatkan dengan mesin pemadat dan akhirnya diperoleh lapisan padat aspal beton.

8. Pengujian Marshall

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh *U.S. Corps Engineer*. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 22,2 KN (=5000lbf) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, sedangkan *flowmeter* digunakan untuk mengukur kelelahan plastis atau



flow. Pengujian *Marshall* pada campuran digunakan untuk mencari data dari persyaratan campuran dan memperoleh hasil perhitungan akhir dari sifat-sifat *Marshall*, seperti : VIM (*Void in Mix*), VMA (*Void in Mineral Agregat*), VFA (*Void Filled with Asphalt*), Stabilitas, dan *Flow* (kelelahan plastis).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium PT. Jasa Marga Tollroad Maintenance - PT. Masco Energi KSO Palembang dengan menggunakan metode eksperimen laboratorium. Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui serangkaian pengujian laboratorium, mulai dari pengujian karakteristik material penyusun campuran, hingga pengujian *Marshall* pada campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) dengan variasi filler. Data sekunder diperoleh dari literatur serta dokumen acuan berupa Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2), yang dijadikan standar dalam menentukan spesifikasi serta prosedur pengujian.

Tahapan penelitian dimulai dengan studi pustaka mengenai penggunaan Abu Ampas Tebu (AAT) sebagai filler dalam campuran beraspal serta persiapan material penelitian. Material yang digunakan meliputi aspal penetrasi 60/70, agregat kasar dan halus dari Bojanegara, serta filler berupa semen tipe I dan Abu Ampas Tebu. Setelah material tersedia, dilakukan pengujian karakteristik material untuk memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi, antara lain uji penetrasi dan titik lembek aspal, analisa saringan agregat, kadar lumpur, keausan, serta uji berat jenis filler.

Tahap berikutnya adalah pembuatan benda uji campuran AC-BC dengan variasi penggunaan filler semen dan Abu Ampas Tebu. Benda uji yang telah dibuat kemudian diuji dengan metode *Marshall* untuk memperoleh nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFB, serta *Marshall Quotient*. Hasil pengujian tersebut dianalisis dengan membandingkan terhadap spesifikasi yang berlaku, sehingga dapat diketahui pengaruh penggunaan Abu Ampas Tebu sebagai filler terhadap karakteristik *Marshall* campuran Laston Lapis Antara (AC-BC).

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat

Hasil rekapitulasi pengujian sifat-sifat fisik agregat yang dilakukan pada material agregat kasar berupa *split* $2/3$, *split* $1/2$ dan *split* $1/1$ pada Tabel 1 dan agregat halus berupa abu batu pada Tabel 4.2 adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Rekapitulasi Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Agregat Kasar			Satuan	Spesifikasi	Spesifikasi Umum Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI)
	2/3	1/2	1/1			
Analisa Saringan	9,141	8,539	6,683	-	-	SNI 03-1968-1990
Berat Jenis Bulk	2,548	2,544	2,539	-	2,5-2,7	SNI 03-1969-1990 SNI 1969:2008
Berat Jenis SSD	2,567	2,573	2,582	-	2,5-2,7	SNI 03-1969-1990 SNI 1969:2008
Berat Jenis Semu	2,598	2,621	2,654	-	2,5-2,7	SNI 03-1969-1990 SNI 1969:2008
Berat Jenis Efektif	2,573	2,582	2,596	-	2,5-2,7	SNI 03-1969-1990 SNI 1969:2008
Penyerapan	0,748	1,159	1,711	%	< 3%	SNI 03-1969-1990 SNI 1969:2008
Kadar Air	2,886	0,913	0,644	%	-	SNI 03-1971-1990
Kadar Lumpur	0,571	0,363	0,337	%	< 1%	SNI 03-4142-1996



Bobot Isi Gembur	1,367	1,262	1,248	gr/cm ³	Min 1,2	SNI 03-4804-1998
Bobot Isi Padat	1,536	1,433	1,421	gr/cm ³	Min 1,2	SNI 03-4804-1998
Keausan Agregat	21,1			%	< 40%	SNI 2417:2008

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Tabel 2. Hasil Rekapitulasi Pengujian Sifat Fisik Agregat Halus

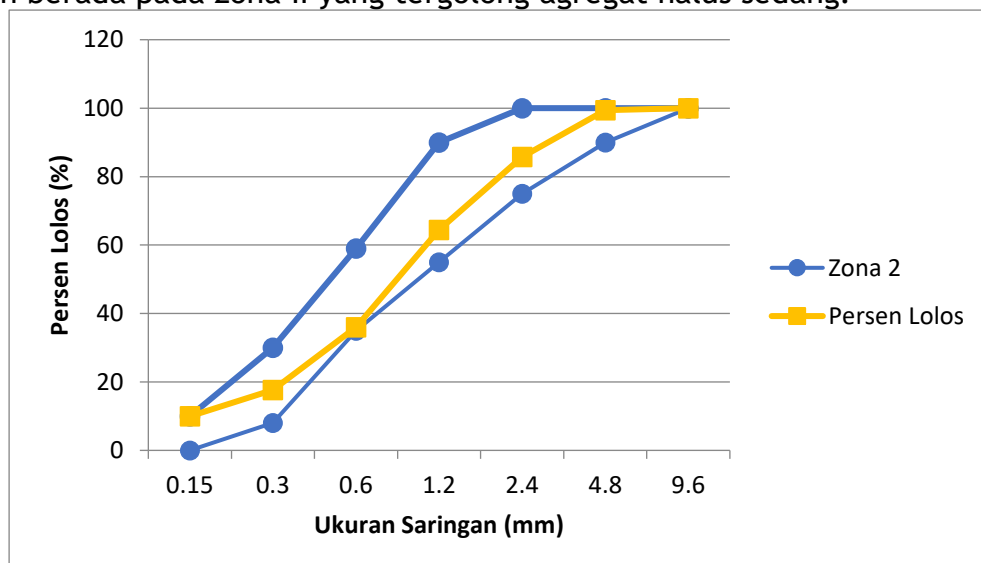
Jenis Pengujian	Hasil	Satuan	Spesifikasi	Spesifikasi Umum Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI)
Analisa Saringan	3,836	-	1,5-3,8	SNI 03-2834-2000
Berat Jenis Bulk	2,502	-	2,5-2,7	SNI 03-1970-1990 SNI 1970:2008
Berat Jenis SSD	2,554	-	2,5-2,7	SNI 03-1970-1990 SNI 1970:2008
Berat Jenis Semu	2,637	-	2,5-2,7	SNI 03-1970-1990 SNI 1970:2008
Berat Jenis Efektif	2,569	-	2,5-2,7	SNI 03-1970-1990 SNI 1970:2008
Penyerapan	2,041	%	< 3%	SNI 03-1970-1990 SNI 1970:2008
Kadar Air	3,242	%	-	SNI 03-1971-1990
Kadar Lumpur	1,621	%	< 5%	SNI 03-4142-1996
Bobot Isi Gembur	1,266	gr/cm ³	Min 1,2	SNI 03-4804-1998
Bobot Isi Padat	1,370	gr/cm ³	Min 1,2	SNI 03-4804-1998

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan pengujian terhadap sifat fisik agregat yang dilakukan diketahui bahwa hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus yang digunakan memenuhi spesifikasi. Adapun pengujian yang dilakukan antara lain :

1) Analisa Saringan

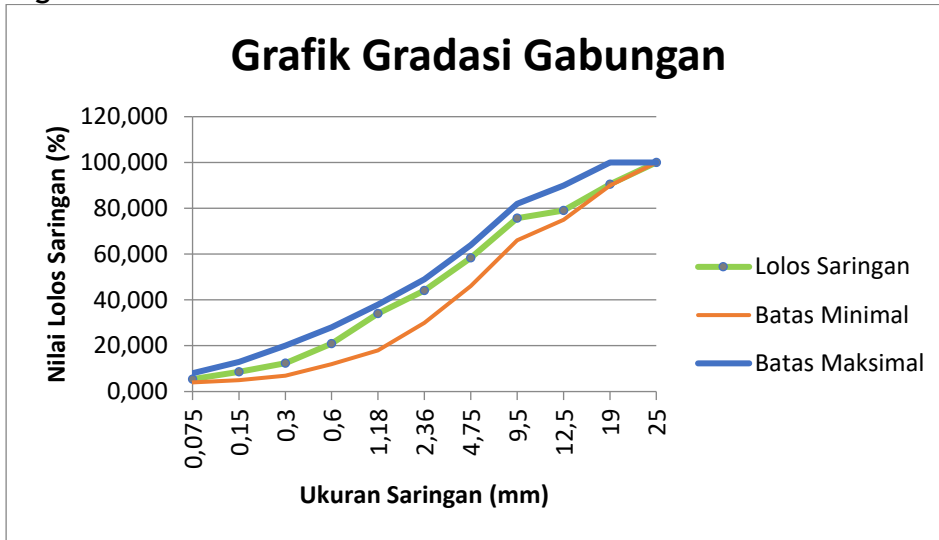
Pengujian analisa saringan ini bertujuan untuk menghitung perbandingan agregat halus dan kasar menjadi agregat gabungan yang mempunyai gradasi yang diinginkan. Berdasarkan hasil perhitungan modulus halus butir didapatkan grafik zona gradasi agregat halus pada gambar 1 di bawah ini yang menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan berada pada zona II yang tergolong agregat halus sedang.



Gambar 1. Grafik Gradasi Zona II Agregat Halus Agak Kasar
(Sumber: Data Laboratorium, 2023)



Dari hasil pengujian analisa saringan agregat kasar dan agregat halus di atas didapatkan hasil rancangan agregat gabungan persen butir lolos dan ukuran saringan agregat sebagai berikut.



Gambar 2. Grafik Gradasi Agregat Gabungan (Sumber: Data Laboratorium, 2023)

Pada Gambar 2 dapat ditarik kesimpulan bahwa kombinasi gradasi dengan cara melakukan percobaan untuk menghasilkan persentase agregat halus (Abu Batu) sebesar 45%, agregat kasar $2/3$ sebesar 12%, agregat kasar $1/2$ sebesar 15%, agregat kasar $1/1$ sebesar 24% dan filler sebesar 4% yang akan digunakan untuk rancangan campuran pembuatan benda uji normal.

2) Berat Jenis dan Penyerapan

Berat jenis dan penyerapan ini digunakan untuk menentukan berat jenis dan prosentase berat air yang dapat diserap agregat halus dihitung terhadap berat kering.

Tabel 3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar $2/3$

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Uji Agregat Setelah Perendaman / SSD (a)	2099,9	Gram
Berat Uji Agregat Konstan (b)	2084,3	Gram
Berat Uji Agregat Dalam Air (c)	1282,0	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh nilai berat jenis dan penyerapan untuk agregat kasar $2/3$ dengan perhitungan sebagai berikut :

- BJ Kering $= \frac{b}{a-c} = \frac{2084,3}{2099,9-1282,0} = 2,548$
- BJ Kering Permukaan $= \frac{a}{a-c} = \frac{2099,9}{2099,9-1282,0} = 2,567$
- Penyerapan $= \frac{a-b}{a-c} \times 100 = \frac{2099,9-2084,3}{2099,9-1282,0} \times 100 = 0,748\%$
- BJ Semu $= \frac{b}{b-c} = \frac{2084,3}{2084,3-1282,0} = 2,598$
- BJ Efektif $= \frac{Bj\ kering + Bj\ Semu}{2} = \frac{2,548 + 2,598}{2} = 2,573$

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar $1/2$

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Uji Agregat Setelah Perendaman / SSD (a)	1439,9	Gram
Berat Uji Agregat Konstan (b)	1423,4	Gram
Berat Uji Agregat Dalam Air (c)	880,4	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)



Berdasarkan Tabel 4 diperoleh nilai berat jenis dan penyerapan untuk agregat kasar $1/2$ dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 - \text{BJ Kering} &= \frac{b}{a-c} = \frac{1423,4}{1439,9-880,4} = 2,544 \\
 - \text{BJ Kering Permukaan} &= \frac{a}{a-c} = \frac{1439,9}{1439,9-880,4} = 2,574 \\
 - \text{Penyerapan} &= \frac{a-b}{b} \times 100 = \frac{1439,9-1423,4}{1423,4} \times 100 = 1,159\% \\
 - \text{BJ Semu} &= \frac{b}{b-c} = \frac{1423,4}{1423,4-880,4} = 2,621 \\
 - \text{BJ Efektif} &= \frac{Bj \text{ kering} + Bj \text{ Semu}}{2} = \frac{2,544 + 2,621}{2} = 2,583
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar $1/1$

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Uji Agregat Setelah Perendaman / SSD (a)	1129,5	Gram
Berat Uji Agregat Konstan (b)	1110,5	Gram
Berat Uji Agregat Dalam Air (c)	692,1	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh nilai berat jenis dan penyerapan untuk agregat kasar $1/1$ dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 - \text{BJ Kering} &= \frac{b}{a-c} = \frac{1110,5}{1129,5-692,1} = 2,539 \\
 - \text{BJ Kering Permukaan} &= \frac{a}{a-c} = \frac{1129,5}{1129,5-692,1} = 2,582 \\
 - \text{Penyerapan} &= \frac{a-b}{b} \times 100 = \frac{1129,5-1110,5}{1110,5} \times 100 = 1,711\% \\
 - \text{BJ Semu} &= \frac{b}{b-c} = \frac{1110,5}{1110,5-692,1} = 2,654 \\
 - \text{BJ Efektif} &= \frac{Bj \text{ kering} + Bj \text{ Semu}}{2} = \frac{2,539 + 2,654}{2} = 2,597
 \end{aligned}$$

Tabel 6. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Kering Permukaan Jenuh Air (Bj)	500	Gram
Berat Uji Agregat Konstan (Bk)	490	Gram
Berat Piknometer+Agregat+Air (Bt)	1014,2	Gram
Berat Piknometer+Air (B)	710	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 6 diperoleh nilai berat jenis dan penyerapan untuk agregat halus dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 - \text{BJ Kering} &= \frac{Bk}{B+Bj-Bt} = \frac{490}{710+500-1014,2} = 2,503 \\
 - \text{BJ Kering Permukaan} &= \frac{Bj}{B+Bj-Bt} = \frac{500}{710+500-1014,2} = 2,554 \\
 - \text{Penyerapan} &= \frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100 = \frac{500-490}{490} \times 100 = 2,041\% \\
 - \text{BJ Semu} &= \frac{Bk}{B+Bk-Bt} = \frac{490}{710+490-1014,2} = 2,637 \\
 - \text{BJ Efektif} &= \frac{Bj \text{ Bulk} + Bj \text{ Semu}}{2} = \frac{2,502 + 2,637}{2} = 2,570
 \end{aligned}$$

3) Kadar Air dan Kadar Lumpur

Pengujian kadar air dan kadar lumpur bertujuan untuk mengetahui persentase air dan lumpur yang terkandung di dalam agregat.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kadar Air dan Kadar Lumpur Agregat Kasar $2/3$

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Agregat (W1)	2000	Gram



Berat Agregat Konstan sebelum di cuci (W2)	1943,9	Gram
Berat Agregat Konstan setelah dicuci (W3)	1932,8	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 7 diperoleh nilai kadar air dan kadar lumpur untuk agregat kasar $2/3$ dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{- Kadar Air} &= \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% = \frac{2000 - 1943,9}{1943,9} \times 100\% = 2,886\% \\ \text{- Kadar Lumpur} &= \frac{W_2 - W_3}{W_2} \times 100\% = \frac{1943,9 - 1932,8}{1943,9} \times 100\% = 0,571\% \end{aligned}$$

Tabel 8. Hasil Pengujian Kadar Air dan Kadar Lumpur Agregat Kasar $1/2$

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Agregat (W1)	2000	Gram
Berat Agregat Konstan sebelum di cuci (W2)	1981,9	Gram
Berat Agregat Konstan setelah dicuci (W3)	1974,7	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 8 diperoleh nilai kadar air dan kadar lumpur untuk agregat kasar $1/2$ dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{- Kadar Air} &= \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% = \frac{2000 - 1981,9}{1981,9} \times 100\% = 0,913\% \\ \text{- Kadar Lumpur} &= \frac{W_2 - W_3}{W_2} \times 100\% = \frac{1981,9 - 1974,7}{1981,9} \times 100\% = 0,363\% \end{aligned}$$

Tabel 9. Hasil Pengujian Kadar Air dan Kadar Lumpur Agregat Kasar $1/1$

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Agregat (W1)	2000	Gram
Berat Agregat Konstan sebelum di cuci (W2)	1987,2	Gram
Berat Agregat Konstan setelah dicuci (W3)	1980,5	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 9 diperoleh nilai kadar air dan kadar lumpur untuk agregat kasar $1/1$ dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{- Kadar Air} &= \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% = \frac{2000 - 1987,2}{1987,2} \times 100\% = 0,644\% \\ \text{- Kadar Lumpur} &= \frac{W_2 - W_3}{W_2} \times 100\% = \frac{1987,2 - 1980,5}{1987,2} \times 100\% = 0,337\% \end{aligned}$$

Tabel 10. Hasil Pengujian Kadar Air dan Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Agregat (W1)	1000	Gram
Berat Agregat Konstan Sebelum Di Cuci (W2)	968,6	Gram
Berat Agregat Konstan Setelah Dicuci (W3)	952,9	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 10 diperoleh nilai kadar air dan kadar lumpur untuk agregat halus dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{- Kadar Air} &= \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% = \frac{1000 - 968,6}{968,6} \times 100\% = 3,242\% \\ \text{- Kadar Lumpur} &= \frac{W_2 - W_3}{W_2} \times 100\% = \frac{968,6 - 952,9}{968,6} \times 100\% = 1,621\% \end{aligned}$$

4) Bobot Isi Gembur dan Padat

Pengujian bobot isi agregat ini bertujuan untuk mengetahui berat isi agregat yang diuji dalam keadaan padat dan gembur.

Tabel 11. Hasil Pengujian Bobot Isi Agregat Kasar $2/3$

Pengujian	Hasil	Satuan
Volume Bejana (A)	2650,719	Cm ³
Berat Bejana (B)	2178,6	Gram
Berat Bejana + Agregat Gembur (C)	1) 5792,9	Gram
	2) 5805,5	Gram
	3) 5813,8	Gram
Berat Bejana + Agregat Padat (D)	1) 6244,7	Gram
	2) 6269,1	Gram
	3) 6238,6	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 11 diperoleh nilai bobot isi gembur dan padat untuk agregat kasar $2/3$ dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{- Bobot Isi Gembur} & : 1) \frac{C1-B}{A} = \frac{5792,9-2178,6}{2650,719} = 1,363 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 2) \frac{C2-B}{A} = \frac{5805,5-2178,6}{2650,719} = 1,368 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 3) \frac{C3-B}{A} = \frac{5813,8-2178,6}{2650,719} = 1,371 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{Rata-rata} & = \frac{(1,363+1,368+1,371)\text{gr/cm}^3}{3} = 1,367 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{- Bobot Isi Padat} & : 1) \frac{D1-B}{A} = \frac{6244,7-2178,6}{2650,719} = 1,534 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 2) \frac{D2-B}{A} = \frac{6269,1-2178,6}{2650,719} = 1,543 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 3) \frac{D3-B}{A} = \frac{6238,6-2178,6}{2650,719} = 1,532 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{Rata-rata} & = \frac{(1,534+1,543+1,532)\text{gr/cm}^3}{3} = 1,536 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 12. Hasil Pengujian Bobot Isi Agregat Kasar $1/2$

Pengujian	Hasil	Satuan
Volume Bejana (A)	2650,719	Cm ³
Berat Bejana (B)	2178,6	Gram
Berat Bejana + Agregat Gembur (C)	1) 5518,9	Gram
	2) 5521,2	Gram
	3) 5529,7	Gram
Berat Bejana + Agregat Padat (D)	1) 5979,1	Gram
	2) 5971,3	Gram
	3) 5983,5	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 12 diperoleh nilai bobot isi gembur dan padat untuk agregat kasar $1/2$ dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{- Bobot Isi Gembur} & : 1) \frac{C1-B}{A} = \frac{5518,9-2178,6}{2650,719} = 1,260 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 2) \frac{C2-B}{A} = \frac{5521,2-2178,6}{2650,719} = 1,261 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 3) \frac{C3-B}{A} = \frac{5529,7-2178,6}{2650,719} = 1,264 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{Rata-rata} & = \frac{(1,260+1,261+1,264)\text{gr/cm}^3}{3} = 1,262 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{- Bobot Isi Padat} & : 1) \frac{D1-B}{A} = \frac{5979,1-2178,6}{2650,719} = 1,434 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 2) \frac{D2-B}{A} = \frac{5971,3-2178,6}{2650,719} = 1,431 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 3) \frac{D3-B}{A} = \frac{5983,5-2178,6}{2650,719} = 1,435 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{Rata-rata} & = \frac{(1,434+1,431+1,435)\text{gr/cm}^3}{3} = 1,433 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 13 Hasil Pengujian Bobot Isi Agregat Kasar $1/1$

Pengujian	Hasil	Satuan
Volume Bejana (A)	2650,719	Cm ³
Berat Bejana (B)	2178,6	Gram
Berat Bejana + Agregat Gembur (C)	1) 5493,1	Gram
	2) 5488,9	Gram
	3) 5480,4	Gram
Berat Bejana + Agregat Padat (D)	1) 5951,8	Gram
	2) 5934,2	Gram
	3) 5948,6	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 13 diperoleh nilai bobot isi gembur dan padat untuk agregat kasar $1/1$ dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{- Bobot Isi Gembur} & : 1) \frac{C1-B}{A} = \frac{5493,1-2178,6}{2650,719} = 1,250 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 2) \frac{C2-B}{A} = \frac{5488,9-2178,6}{2650,719} = 1,249 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 3) \frac{C3-B}{A} = \frac{5480,4-2178,6}{2650,719} = 1,246 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{Rata-rata} & = \frac{(1,250+1,249+1,246)\text{gr/cm}^3}{3} = 1,248 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{- Bobot Isi Padat} & : 1) \frac{D1-B}{A} = \frac{5951,8-2178,6}{2650,719} = 1,423 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 2) \frac{D2-B}{A} = \frac{5934,2-2178,6}{2650,719} = 1,417 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 3) \frac{D3-B}{A} = \frac{5948,6-2178,6}{2650,719} = 1,422 \text{ gr/cm}^3 \\
 \text{Rata-rata} & = \frac{(1,423+1,417+1,422)\text{gr/cm}^3}{3} = 1,421 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 14. Hasil Pengujian Bobot Isi Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian	Hasil	Satuan
Volume Bejana (A)	2035,752	Cm ³
Berat Bejana (B)	838,1	Gram
Berat Bejana + Agregat Gembur (C)	1) 3421,2	Gram
	2) 3405,9	Gram
	3) 3418,8	Gram
Berat Bejana + Agregat Padat (D)	1) 3635,9	Gram
	2) 3620,4	Gram
	3) 3627,7	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 14 didapatkan nilai bobot isi gembur dan padat untuk agregat halus dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{- Bobot Isi Gembur} & : 1) \frac{C1-B}{A} = \frac{3421,2-838,1}{2035,752} = 1,269 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 2) \frac{C2-B}{A} = \frac{3405,9-838,1}{2035,752} = 1,261 \text{ gr/cm}^3 \\
 & : 3) \frac{C3-B}{A} = \frac{3418,8-838,1}{2035,752} = 1,268 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Rata-rata} &= \frac{(1,269+1,261+1,268)\text{gr/cm}^3}{3} = 1,266 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{- Bobot Isi Padat} &: 1) \frac{D1-B}{A} = \frac{3635,9-838,1}{2035,752} = 1,374 \text{ gr/cm}^3 \\ &: 2) \frac{D2-B}{A} = \frac{3620,4-838,1}{2035,752} = 1,367 \text{ gr/cm}^3 \\ &: 3) \frac{D3-B}{A} = \frac{3627,7-838,1}{2035,752} = 1,370 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{Rata-rata} &= \frac{(1,374+1,367+1,370)\text{gr/cm}^3}{3} = 1,370 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

5) Keausan Agregat Kasar dengan Mesin *Los Angeles*

Dari hasil pengujian keausan agregat kasar dengan mesin *los angeles* untuk gradasi A dan gradasi B diperoleh data yang dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Tabel 4.21 berikut ini.

Tabel 15. Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar Gradasi A

Gradasi Pemeriksaan		Gradasi A Berat Sampel (gram)
Ukuran Saringan (mm)		
Lolos	Tertahan	
37,5	25	1250
25	19	1250
19	12,5	1250
12,5	9,5	1250
9,5	6,3	-
6,3	4,75	-
4,75	2,36	-
Total		5000
Jumlah Bola Baja		12
Berat Bola (gram)		5000 ± 25
Catatan : 500 kali putaran		
Berat Contoh		
Berat Awal (A)		5000
Berat Setelah diayak saringan no. 2,36 mm (B)		4000
Berat Sesudah (A-B)		1000

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 15 diperoleh nilai keausan agregat kasar gradasi A dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{- Benda Uji yang Menembus Saringan No. 2,36 mm} \\ = \frac{A - B}{A} \times 100\% = \frac{5000 \text{ gram} - 4000 \text{ gram}}{5000 \text{ gram}} \times 100\% = 20,0\% \end{aligned}$$

Tabel 16. Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar Gradasi B

Gradasi Pemeriksaan		Gradasi B Berat Sampel (gram)
Ukuran Saringan (mm)		
Lolos	Tertahan	
37,5	25	-
25	19	-
19	12,5	2500
12,5	9,5	2500
9,5	6,3	-
6,3	4,75	-
4,75	2,36	-
Total		5000



Jumlah Bola Baja	11
Berat Bola (gram)	4584 ± 25
Catatan : 500 kali putaran	
Berat Contoh	
Berat Awal (A)	5000
Berat Setelah diayak saringan no. 2,36 mm (B)	3890
Berat Sesudah (A-B)	1110

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 16 diperoleh nilai keausan agregat kasar gradasi B dengan perhitungan sebagai berikut:

- Benda Uji yang Menembus Saringan No. 2,36 mm

$$= \frac{A-B}{A} \times 100\% = \frac{5000 \text{ gram} - 3890 \text{ gram}}{5000 \text{ gram}} \times 100\% = 22,2 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Keausan Agregat Rata - Rata} &= \frac{\text{Keausan Gradasi A} - \text{Keausan Gradasi B}}{2} \\ &= \frac{20,0\% - 22,2\%}{2} \\ &= 21,1\% \end{aligned}$$

2. Hasil Pengujian Filler

Penelitian ini menggunakan *filler* berupa semen *Portland* Tipe 1. Berikut hasil pengujian yang dilakukan pada setiap pengujian semen sebagai *filler*.

1) Berat Jenis Semen

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis semen yang digunakan sebagai filler dan mengetahui sifat berat jenis dari semen. Dari hasil pengujian berat jenis semen diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 17 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Semen	64	gram
Tinggi Minyak Tanah Konstan (V1)	0,8	ml
Tinggi Minyak Tanah + Semen (V2)	21,5	ml

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 17 didapatkan nilai berat jenis semen dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Berat Jenis Semen Portland} = \frac{\text{Berat Semen}}{(V2-V1) \times 1} = \frac{64}{(21,5-0,8) \times 1} = 3,092 \text{ gr/cm}^3$$

Berdasarkan pengujian berat jenis semen yang dilakukan diketahui bahwa hasil pengujian *filler* yang digunakan yaitu 3,092 gr/cm³ telah memenuhi spesifikasi SNI 03-2531-1991 yang disyaratkan antara 3 - 3,2 gr/cm³.

2) Berat Jenis Abu Ampas Tebu

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis semen yang digunakan sebagai filler dan mengetahui sifat berat jenis dari semen. Dari hasil pengujian berat jenis semen diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 18 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen

Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Semen	64	gram
Tinggi Minyak Tanah Konstan (V1)	0,7	ml
Tinggi Minyak Tanah + Abu Ampas Tebu (V2)	21,8	ml

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 18 didapatkan nilai berat jenis semen dengan perhitungan sebagai berikut:



$$\text{Berat Jenis Semen Portland} = \frac{\text{Berat Semen}}{(V_2 - V_1) \times 1} = \frac{64}{(21,8 - 0,7) \times 1} = 3,033 \text{ gr/cm}^3$$

Berdasarkan pengujian berat jenis semen yang dilakukan diketahui bahwa hasil pengujian *filler* yang digunakan yaitu $3,033 \text{ gr/cm}^3$ telah memenuhi spesifikasi SNI 03-2531-1991 yang disyaratkan antara $3 - 3,2 \text{ gr/cm}^3$.

3. Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal

Hasil pengujian sifat fisik aspal pada penelitian ini meliputi pemeriksaan berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik lembek.

Tabel 19. Hasil Rekapitulasi Pengujian Sifat Fisik Aspal

Jenis Pengujian	Hasil	Satuan	Spesifikasi	Spesifikasi Umum Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI)
Berat Jenis Aspal	1,035	-	$\geq 1,0$	SNI 2441:2011
Titik Lembek Aspal	49,0	$^{\circ}\text{C}$	48-58	SNI 2434:2011
Penetrasi	64,5	mm	60-70	SNI 06-2456-1991
Daktilitas	141	cm	≥ 100	SNI 2432:2011

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

1) Berat Jenis Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui untuk menentukan berat jenis aspal padat. Dari hasil pengujian berat jenis aspal diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 20. Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

Pegujian	Hasil	Satuan
Berat viknometer (A)	36,0	Gram
Berat viknometer + air (B)	64,84	Gram
Berat viknometer + aspal (C)	43,15	Gram
Berat viknometer + aspal + air (D)	65,08	Gram

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 20 diperoleh berat jenis aspal dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Aspal} &: \frac{\text{Berat}}{\text{Volume}} \\ &: \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \\ &: \frac{43,15 \text{ gr} - 36,0 \text{ gr}}{(64,84 \text{ gr} - 36,0 \text{ gr}) - (65,08 \text{ gr} - 43,15 \text{ gr})} \\ &: 1,035 \end{aligned}$$

2) Titik Lembek Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui suhu dan waktu pada saat bola baja mendesak keluar aspal yang kita uji. Dari hasil pengujian titik lembek aspal diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 21. Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal

Suhu yang diamati ($^{\circ}\text{C}$)	Waktu (detik)		Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	
	I	II	I	II
5	0	0		
10	8'15"	8'15"		
15	12'38"	12'38"		
20	15'05"	15'05"		
25	17'49"	17'49"		
30	20'09"	20'09"		
35	22'17"	22'17"		
40	24'53"	24'53"		



45			(48 °C) 28'14"	(50 °C) 29'41"
50				
55				

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 21 diperoleh nilai titik lembek aspal dengan perhitungan sebagai berikut:

- Rata-rata suhu titik lembek : $\frac{48^{\circ}\text{C}+50^{\circ}\text{C}}{2} = 49,0^{\circ}\text{C}$
- Rata-rata waktu titik lembek : $\frac{28'14'' + 29'41''}{2} = 28'57''$

3) Penetrasi Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui keras atau lembeknya aspal yang kita uji. Dari hasil pengujian penetrasi aspal diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 22. Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

Penetrasi Setelah 5 Detik Pembacaan Ke-	Sampel	
	A	B
1	65	63
2	65	64
3	64	64
4	66	65
5	65	64
Rata-Rata	64,5	

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

4) Daktilitas Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak putus aspal sehingga diketahui sifat plastisnya. Dari hasil pengujian daktilitas aspal diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 23. Hasil Pengujian Daktilitas Aspal

Sampel	Waktu (... ° ... ' ... ")	Panjang Putus (cm)
I	0° 28' 19"	139
II	0° 30' 18"	143

(Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, 2023)

Berdasarkan Tabel 23 diperoleh nilai daktilitas aspal dengan perhitungan sebagai berikut:

- Rata-rata jarak putus : $\frac{139\text{ cm}+143\text{ cm}}{2} = 141,0\text{ cm}$
- Rata-rata waktu putus : $\frac{0^{\circ}28'19'' + 0^{\circ}30'18''}{2} = 0^{\circ}29'18''$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian “Pengaruh Penggunaan Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Untuk Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) Terhadap Nilai Karakteristik Marshall”, dapat disimpulkan:

1. Nilai **Kadar Aspal Optimum (KAO)** diperoleh dari variasi kadar aspal 4,5%; 5%; dan 6% dengan filler abu ampas tebu yang diuji, dimana nilai optimum ditentukan berdasarkan parameter Marshall sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.
2. Penggunaan **Abu Ampas Tebu (AAT)** sebagai filler berpengaruh terhadap nilai karakteristik Marshall, khususnya pada parameter stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, dan Marshall Quotient (MQ). Peningkatan kadar AAT dalam campuran memberikan variasi pengaruh, dimana sebagian parameter mengalami peningkatan sedangkan parameter lain menurun.



3. Dari beberapa variasi kadar filler, terdapat **kadar AAT optimum** yang mampu memenuhi seluruh persyaratan Bina Marga 2018 Revisi 2, sehingga AAT dapat digunakan sebagai alternatif pengganti sebagian semen Portland pada campuran AC-BC.
4. Secara umum, pemanfaatan AAT sebagai filler dapat meningkatkan performa campuran aspal sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap semen Portland, serta mendukung pemanfaatan limbah industri gula sebagai material konstruksi ramah lingkungan.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran:

1. Perlu dilakukan **pengujian lebih lanjut** terhadap sifat kimia abu ampas tebu untuk memperkuat hasil penelitian, khususnya terkait kandungan senyawa yang mempengaruhi sifat ikat pada campuran aspal.
2. Variasi kadar filler AAT dapat diperluas, misalnya di bawah 20% atau di atas 80%, untuk mengetahui batas maksimum pemakaian filler yang masih sesuai standar.
3. Disarankan melakukan **pengujian ketahanan jangka panjang** (durabilitas) seperti uji rendaman (Immersion Test) atau uji kelelahan (Fatigue Test) untuk melihat pengaruh penggunaan AAT terhadap kinerja perkerasan dalam kondisi lapangan.
4. Perlu kajian **ekonomi** untuk mengetahui efisiensi biaya penggunaan AAT dibandingkan dengan filler konvensional (semen Portland).

Penelitian selanjutnya sebaiknya juga mengkaji penggunaan AAT pada jenis lapisan perkerasan lain (misalnya AC-WC atau AC-Base) agar hasilnya lebih aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Sukirman, S. (1999). Beton Aspal Campuran Panas. Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Sukirman, S. (2003). Perkerasan Jalan. Nova.
- Saodang, H. (2005). Konstruksi Jalan Raya. Nova.
- Syarkawi. (2011). Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu (AAT) Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Kuat Tekan Beton K-200. Laporan Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.