BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu infrastruktur, penghubung antara suatu tempat ke tempat lain, serta memiliki peranan penting memajukan perekonomian suatu daerah. Perkembangan jaman yang semakin maju mendorong agar jalan mampu memberikan konstribusi lebih terhadap pengguna jalan. Pada umumnya struktur lapisan perkerasan jalan terdiri dari, lapisan dasar *(Sub Grade)*, lapisan pondasi bawah *(Subbase Course)*, lapisan pondasi atas *(Base Course)*,perkerasan *(Binder Course)*, lapisan aus *(Wearing Course)*, oleh karena itu lapisan perkerasan harus disusun seefisien mungkin agar dapat berfungsi secara optimal. Inovasi terhadap keramahan lingkungan menggunakan campuran aspal dingin *(Cold Mix Asphalt)* dengan memadukan penghematan sumber daya alam yang ada, yaitu dengan memanfaatkan teknologi daur ulang lapisan perkerasan yang sudah rusak, biasanya sering disebut RAP *(Reclaimed Asphalt Pavement)*. Agregat RAP berperan penting dalam pembentukan lapisan perkerasan, dimana karakteristik agregat juga menentukan daya dukung perkerasan. Agregat RAP yang memiliki mutu properties kurang kompetitif dibandingkan agregat baru, perlu dilakukan penambahan bahan tambah untuk memperbaiki properties RAP, yaitu dengan menambahkan filler, karena pada pencampuran dingin *(Cold Mix Asphalt)* biasanya memerlukan waktu yang lama dalam proses penguapan air dalam campuran agregat, kurang kuat pada umur awal dan memiliki porositas yang

tinggi. Kualitas campuran perkerasan juga dipengaruhi oleh gradasi agregat yang dinyatakan dalam persentase lolos atau persentase tertahan butiran dan dihitung berdasarkan berat agregat menggunakan satu set saringan agregat. Gradasi agregat baik tersusun atas ukuran butiran yang terdistribusi merata dalam rentang ukuranya, dimana terdapat agregat kasar, agregat halus dan filler. Pada umumnya di lapangan untuk mengendalikan kondisi gradasi yang sesuai proporsinya sangat sulit di dapat, apalagi pada campuran dingin *(Cold Mix Asphalt)* masih terdapat banyak kekurangan yaitu kepadatan yang kurang maksimal dan mudah terjadi keretakan akibat beban yang diterima atau nilai stabilitas yang kurang maksimal, kondisi seperti ini yang menjadi penyebab kerusakan jalan. Dari fakor-faktor penyebab kerusakan perkerasan jalan tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapat fakta lapangan yang lebih realistis dan dapat menjadi pertimbangan keputusan dalam perencanaan struktur perkerasan jalan. Dalam hal ini gradasi AC WC divariasi dan melakukan penambahan filler sebesar 1,5 % untuk mengetahui analisis variasi gradasi, sehingga diharapkan akan memberikan hasil yang lebih optimal.

Oleh karena itu dengan diangkatnya judul penelitian ” Kajian Experiment Penggunaan Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Dingin Cold Mix Lastbutag AC-WC” apakah dengan menggunakan Agregat Pada Campuran Aspal Dingin Cold Mix Lastbutag AC-WC dapat meningkatkan perkerasan jalan, pengendalian mutu pekerjaan pembangunan jalan dari setiap tahap kegiatan sangat diperlukan untuk mengontrol kualitas (*qualiry control*) pekerjaan jalan, karena keberhasilan suatu pekerjaan jalan tidak akan terlepas dari kualitas hasil pekerjaan. Seperti

melakukan pengujian material yang digunakan dilapangan baik hasil material AMP (*asphalt mixing plant*). Maupun yang telah di hampar di lapangan dengan melakukan uji ekstraksi, uji stabilitas marshall, berat jenis, maupun pengujian hasil *core drill* di laboratorium.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas adapun rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik Agregat kasar Pada Campuran Aspal Dingin Cold Mix Lastbutag AC-WC ?
2. Bagaimana pengaruh kelayakan Agregat kasar Pada Campuran Aspal Dingin Cold Mix Lastbutag AC-WC ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut

1. Untuk mengetahui karakteristik Agregat kasar Pada Campuran Aspal Dingin Cold Mix Lastbutag AC-WC ?
2. Untuk mengetahui pengaruh kelayakan Agregat kasar Pada Campuran Aspal Dingin Cold Mix Lastbutag AC-WC ?

D. Batasan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Labolatorium Jalan dan Aspal, Universitas Muhammadiyah Parepare.
2. Ketentuan bahan dalam penelitian ini yaitu:
   a. Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60-70.

b. Material agregat kasar dan agregat halus diambil dari PT. WIN WAHANA Cipta Marga Kabupaten Pinrang.
c. *Filler* yang digunakan adalah semen.
d. Dalam pengujian untuk KAO dengan variasi perkiraan kadar aspal optimum, yaitu: 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, dan 6.5%.

3. Pengujian material agregat dalam penelitian meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan, pengujian keausan agregat kasar (abrasi), dan pengujian analisa saringan agregat.
4. Pengujian aspal dalam penelitian meliputi pengujian penetrasi, titik lembek, kehilangan berat aspal, dan berat jenis aspal.
5. Menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang dilakukan penulis pada tugas akhir ini yaitu:

1. Mengetahui karakteristik agregat pada campuran aspal dingin cold mix lasbutag ac-wc apakah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
2. Dapat mengetahui persen rongga diantara agregat (VMA), persen rongga dalam campuran (VIM), persen rongga terisi aspal (VFB), stabilitas *(stability)*, kelelehan *(flow)* dan *Marshall Quatinet.*
3. Dapat mengetahui nilai kadar aspal optimum (KAO) dengan menggunakan agregat dari PT. WIN WAHANA CIPTA MARGA Kabupaten Pinrang

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang.teori-teori yang menyangkut dengan penelitian ini dan digunakan sebagai landasan serta hasil tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya yang bersifat relevan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, bahan dan alat, prosedur penelitian, teknik pengumpulan data, teknik analisis data, dan diagram alir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Agregat

Menurut Sukirman (1992: 41), Agregat merupakan komponen utama perkerasan jalan yang mempunyai kandungan 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Sehingga agregat menyumbangkan faktor kekuatan utama dalam perkerasan jalan. Berfungsi sebagai penstabil mekanis, agregat harus mempunyai suatu kekuatan dan kekerasan, untuk menghindarkan terjadinya kerusakan akibat beban lalu lintas. Pemilihan agregat yang digunakan pada suatu konstruksi perkerasan jalan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi, bentuk butir, kekuatan, kelekatan pada aspal, tekstur permukaan dan kebersihan. Secara umum agregat yang digunakan dalam campuran beraspal dibagi atas dua fraksi, yaitu :

1. Agregat Kasar Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.8 (2,36 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan.

Tabel 2. 1 Ketentuan Agregat Kasar *(Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)*

Pengujian		**Metode Pengujian**	**Nilai**
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%

Lanjutan Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar *(Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)*

		Magnesium Sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90*)
		Lainnya		95/90**)
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200			SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

2. Agregat halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm). Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Ketentuan Agregat Halus *(Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)*

Pengujian	**Standar**	**Nilai**
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%

Lanjutan tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus *(Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)*

Angularutas dengan uji kadar ronga	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpulan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat		Maks 1%
Agregat lolos ayakan no. 200	SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 10%

Agregat didefenisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendifinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terjadi dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen- fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan prosentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan prosentase volume.

Pemelihan agregat yang akan digunakan harus memperhatikan ketersediaan bahan dilokasi, jenis konstruksi, gradasi, ukuran maksimum, kebersihan, daya tahan, bentuk, tekstur, daya letak agregat terhadap aspal dan berat jenis lainya.

3. Nilai Kekuasaan Agregat

Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akibat proses mekanis dan kimiawi. Agregat dapat mengalami degradasi, yaitu perubahan gradasi, akibat pecahanya butir agregat. Kehancuran agregat dapat disebabkan oleh proses mekanis, seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan perkerasan jalan (penimbunan, penghamparan dan pemadatan),pelayanan terhadap beben lalu lintas, dan proses kimiawi, seperti pengaruh kelembapan, kepanasan, dan perubahan suhu sepanjang hari.

Faktor-faktor yang mempengarui tingkat degradasi yang terjadi sangat ditentukan oleh jenis agregat, gradasi campuran, ukuran partikel, bentuk agregat dan besarnya energy yang dialami oleh agregat tersebut:

4. Bentuk Dan Tekstur Agregat

Berdasarkan bentuknya , partikel atau butir agregat dikelompokan sebagai berbentuk bulat, lonjong, pipih, kubus, tak beraturan atau mempunyai bidang pecahan.

a. Agregat Berbentuk Bulat

Agregat yang ditemui di sungai pada umumnya telah mengalami erosi, sehingga berbentuk bulat (*rounded*) dan licin. Bidang kontak antar agregat berbentuk bulat sangat sempit, hanya berupa titik sunggung, sehingga menghasilkan penguncian antar agregat yang tidak baik dan menghasilkan kondisi kepadatan lapisan perkerasan yang kurang baik.

b. Agregat Berbentuk Kubus

Agregat berbentuk kubus (*cubical*) pada umumnya merupakan agregat hasil pemecahan batu massif atau hasil pemecahan mesin pemeca batu. Bidang kontak agregat ini luas, sehingga mempunyai daya saling mengunci yang baik. Kesetabilan yang diperoleh lebih baik dan lebih tahan terhadap pormasi. Agregat ini merupakan agregat yang terbaik untuk dipergunakan sebagai material perkerasan jalan.

c. Agregat Berbentuk Lonjong

Agregat berbentuk lonjong (*elongated*) dapat ditemukan disungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjang lebih

dari 1,8 kali diameter rata-rata. Indek kelonjongan (*elongated index*) adalah persentase berat agregat lonjong berat total. Sifat campuran agregat bentuk lonjong ini hampir sama dengan agregat berbentuk bulat.

d. Agregat Berbentuk Pipih

Agregat berbentuk pipih (*flacky*) merupakan hasil produksi dari mesin pemecah batu, dan biasanya agregat ini meman cenderung pecah dengan bentuk pipih. Agregat pipih yaitu agregat yang ketebalannya lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Indeks kepipihan adalah berat total agregat yang lolos slot dibagi berat total agregat yang tertahan slot pada ukuran nominal tertentu.

B. Aspal

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyilimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanannya. Pengerasan aspal dapat terjadi karena oksidasi, penguapan, dan perubahan kimiawi lainnya. Menutut wignall (2003) aspal dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu:

1. Aspal Alam

Aspal alam dapat berasal dari bantuan pegunungan (*rock asphalt*) dan danau (*lake asphalt*). Aspal buatan didapat dari proses destilasi minyak bumi, dengan pemanasan 350 dibawah tekanan atmosfir untuk memisahkan fraksi-fraksi ringan, seperti gasoline (bensin),(suryadharma, 2008), yaitu:

a. Aspal keras/panas (asphalt cement, AC)

b. Aspal dingin/cair (cut back asphalt)

c. Aspal emulsi (amulsion asphalt)

Penggunaan yang paling umum adalah jenis aspal keras (AC), aspal jenis ini berbentuk padat pada temperarur antara 25 -30

2. Aspal Buatan

Penggunaan yang paling umum adalah jenis aspal keras (AC), aspal jenis ini berbentuk padat pada temperarur antara 25 C -30 C. Di indonesia AC terdiri dari beberapa jenis, yaitu:

a. AC pen 40/50

b. AC pen 60/70

c. AC pen 80/100

d. AC pen 120/150

e. AC pen 200/300

Di Indonesia umumnya dipakai AC pen 60/70 atau AC pen 80/100. Syarat umum AC adalah berasal dari saringan minyak bumi, harus mempunyai sifat yang sejenis, kandungan kadar parafinnya tidak lebih dari 2% dan tidak mengandung air/busa pada temperatur 175 AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Conrse)

AC-BC merupakan lapis perkerasan yang berfungsi sebagai lapis antara, yaitu diantara AC-WC (*asphslt concrete-wearing course*) sebagai lapis pondasi bawah. Salah satu produk campuran aspal yang kini banyak

digunakan oleh departemen permukiman dan prasarana wilayah adalah AC-WC/ lapisan aus aspal beton.

AC-WC adalah salah satu dari tiga macam campuran aspal beton yaitu AC-BC,AC-WC dan AC-base. Ketiga jenis laston tersebut merupan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan oleh bina marga bersama-sama dengan pemerintah pusat litbang jalan.

C. Beton Aspal (AC-WC)

Beton aspal 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. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisanlapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisanlapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. Adapun susunan lapis konstruksi perkerasan lentur terdiri dari (Silvia Sukirman, 1999) :

AC-WC adalah salah satu dari tiga macam campuran aspal beton yaitu AC-BC,AC-WC dan AC-base. Ketiga jenis laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan oleh bina marga bersama-sama dengan pemerintah pusat litbang jalan.

Tabel 2. 3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran*(Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)*

Sifat-Sifat Campuran		Laston					
		WC		BC		BASE	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar Aspal Efektif (%)		5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan Aspal (%)	Max	1,2					

Lanjutan tabel 2.3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran*(Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)*

Jumlah Tumbukan Perbidang		7,5		112
Rongga Dalam Campuran (%)	Min	3,5		
	Max	5,0		
Rongga Dalam Agregat (VMA)(%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	63	60

Menurut (Sukirman 2003) Lapisan Aspal Beton (Laston) adalah suatu lapisan pada sruktrur jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi dicampuran, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu (SNI 03-1737-1989). Tebal nominal minimum Laston (AC) adalah 4 – 7,5 cm (Spesifikasi Umum 2018) Sesuai fungsinya Laston (AC) mempunyai 3 macam campuran yaitu:

1. **Laston sebagai lapisan aus,** dikenal dengan nama AC-WC *(Asphalt Concrete- WearingCourse),* dengan tebal nominal minimum adalah 4 cm. Lapisan ini harus memiliki permukaan yang rata dan nyaman serta memiliki kekesatan yang tinggi karena merupakan lapisan yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan.
2. **Laston sebagai lapisan antara,** dikenal dengan nama AC-BC *(Asphalt Concrete-Binder Course),* dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm. Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan

atau regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawahnya yaitu *Base* dan *Sub Grade.*

3. **Laston sebagai lapisan pondasi,** dikenal dengan nama AC-Base *(Asphalt Concrete-Base),* dengan tebal nominal minimum adalah 7,5 cm. Lapisan ini berfungsi untuk memberi dukungan atau menerima beban kendaraan dari lapisan AC-BC untuk selanjutnya diteruskan kembali ke lapisan pondasi bawah.

D. Marshall Test

Pengujian marshall bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap kelelehan plastis (flow). Flow didefinisikan sebagai perubahan deformasi atau regangan suatu campuran mulai dari tanpa beban, sampai beban maksimum dan dinyatakan dalam milimeter atau 0,01". Pengujian marshall merupakan pengujian yang paling banyak dan paling umum di pakai saat ini.Hal ini disebabkan karena alatnya sederhana dan cukup praktis untuk dimobelisasi.

1. Pengujian Marshall

Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi:

a. Penentuan volume berat benda uji
b. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal pada menerima beban sampai terjadi kelelehan plastis
c. Pengujian kelelehan (flow), adalah besarnya perubahan bentuk plasris darai beton aspal pada akibat adanya beban sampai batas keruntuhan

d. Perhitungan question marshall, adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan flow
e. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal pada (VIM, VMA, dan VFA)
f. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

2. Langka-Langkah Uji Marshall

Secara garis besar langkah-langkah pengujian marshall meliputi :

a. Persiapan benda uji
b. Penentuan berat jenis bulk dari benda uji
c. Pemeriksaan nilai stabilitas dan flow
d. Perhitungan sifat volumetic benda uji

3. Parameter dan furmula perhitungan

Parameter formula untuk menganalisa campuran aspal beton adalah sebagai berikut:

a. Berat Jenis Bulk Dan Apparent Total Agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi Agregat kasar, agregat halus dan beban pengesi/filler yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (bulk specific gravity) dan berat jenis semua (apparent grafity)

b. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis maksimum campuran (Gmm) diukur dalam AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran (Gse), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal padat dihitung dengan rumus berikut :

c. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, Gmm pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga msaing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T.209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat).

d. Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Perhitungan berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (Gmb) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut:

e. Rongga Diantara Mineral Agregat (VMA)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suaut perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang disetat agregat).

1) Rongga Di Dalam Campuran (*Void In The Compacted Mixture*/ VIM)

Rongga udara dalam campuran (Va) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut :

2) Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Asphalt*/ VFA)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat.

3) Stabilitas

Nilai stabilitas adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelehan plastis. Nilai ini diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat Marshall. Selain itu pada umumnya alat Marshall yang digunakan bersatuan Lbf (*pound force*), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

4) Flow

Flow (Kelelehan) adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan. Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti di atas Nilai flow berdasarkan nilai masingmasing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum dial flow biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter), sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

5) Hasil Bagi Marshall

Hasil bagi mashall / marshall quotient (MQ) merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelehan. Sifat marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

6) Durabilitas Standar

Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-1990. Uji perendaman dilakukan pada temperatur 60±1ºC selama 24 jam. Masing-masing

golongan terdiri dari 2 sampel yang direndam pada bak perendaman untuk semua variasi kadar aspal. Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian Marshall perendaman di dalam air pada suhu 60ºC selama 24 jam.

E. Penelitian Terdahulu

1. Mas Nurjana. 2020. "Optimasi Kadar aspal Pertamina Terhadap Karakteristik Aspal Beton (AC-WC) Menggunakan Variasi Agregat Batuan Lokal Gunung Balapulang". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *Marshall* menggunakan bahan pengikat aspal Pertamina AC 60/70 dengan menggukan *Flow* (kelelehan), VIM *(Void In Mix)*, VMA *(Void In Mineral Agregate)* VFB *(Void Filled Bitumen)* dan *Marshall Quotient* (MQ). Penelitian ini menggunakan metode pengujian campuran beraspal panas *(Hot Mix)* dengan metode *Marshall.* Penelitian ini Terdiri dari 5 Varian dan masing-masing varian menggunakan kadar aspal yang berbeda antara lain 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Dan perkadar dibuatkan masig-masing 3 sample benda uji. Pelaksanaan peneliian dilakukan di Laboratarium Teknik sipil Universitas Pancasakti Tegal dan Laboratarium PT, Nisaana Hasna Rizqy. Tahapan pengujian meliputi Pemeriksaan Agregat Agregat kasar dan agregat halus), pemeriksaan aspal AC 60/70, Pemeriksaan filler, pembuatan benda uji campuran beton aspal dan pengujiaan marshall. Hasil uji kinerja karakterisitik Marshall didapat kadar Optimum 5,5% dan hasil rata Stabilitas Marshall 1550,0 kg, nilai rerata *Flow* (kelelehan) 4,00 mm, nilai *Density* (kepadatan) 2,340 gr/cc, nilai VMA *(Void In Mineral Agregate)* 14,40%, nilai rerata Vim

(Void In Mix) 3,70%, nilai rerata VFB *(void Filled Bitumen)* 76,20%, dan nilai rerata *Marshall Quotient* (MQ) 440,0 kg/mm

2. Nauval Rizky. 2021. "Pengaruh Subtitusi Styrofoam Pada Campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) Dengan Pengujian Marshall". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya nilai perbandingan karakteristik aspal yang menggunakan substitusi *Styrofoam* dengan aspal yang tidak menggunakan *Styrofoam.* Aspal yang digunakan pada penelitian adalah aspal dengan penetrasi 60/70 dengan Persentase campuran *styrofoam* yang digunakan adalah 2%, 2,5%, dan 3% dari total berat Kadar Aspal Optimum. Pada setiap variasi campuran terdapat 3 benda uji. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar 5,99%. Nilai *bulk density* pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 2,346 gr/cc, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 2,357 gr/cc, kadar *styrofoam* 3% sebesar 2,356 gr/cc. Nilai *stability* pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 828 kg, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 853 kg, kadar *styrofoam* 3% sebesar 878 kg. Nilai VIM pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 3,66%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 3,20%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 3,25%. Nilai VFA pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 76,42%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 78,08%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 78,94%. Nilai VMA pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 14,9%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 14,5%, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 15,3%. Nilai flow pada kadar 2% sebesar 2,47 mm, pada kadar 2,5% sebesar 2,76 mm, kadar 3% sebesar 3,01 mm. Aspal dengan campuran *styrofoam* memenuhi nilai spesifikasi.

3. Fani.L.A,dkk,2019. “Pemanfaatan Agregat Sungai Wanggar Kabupaten Nabire Sebagai Bahan Campuran AC-WC dan AC-BC”. Penelitian ini dilakukan untuk menguji karakteristik campuran Laston AC-WC dan AC-BC dengan batu dan pasir dari Sungai Wanggar. Metodologi dalam penelitian ini adalah melakukan serangkaian pengujian karakteristik berupa agregat kasar, halus dan filler lalu merancang komposisi campuran kemudian pembuatan benda uji berupa campuran Laston AC-WC dan AC-BC serta pengujian Marshall untuk mendapatkan karakteristik campuran dan pengujian Marshall Immertion untuk mendapatkan Indeks Perendaman (IP)/Indeks Kekuatan Sisa (IKS)/Durabilitas campuran yang berkadar *filler* optimum.Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan dengan mengunakan batu apung sebagai *filler* memenuhi spesifikasi sebagai bahan lapisan perkerasan jalan. Melalui uji *Marshall* diperoleh karakteristik campuran Laston AC-WC dengan kadar aspal 6,50% dan Laston AC-BC dengan kadar aspal 5,14%. Hasil pengujian *Marshall Immertion* campuran Laston AC-WC dan Laston AC-BC mendapatkan Indeks Perendaman (IP)/Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sebesar 95,11% dan 94,41% yang berarti melampaui syarat batas yaitu ≥90% sehingga campuran tahan terhadap perendaman dalam air.
4. Gabriel Pabia Palimbunga, Rais Rachman, Alpius, 2020. “Penggunaan Agregat Sungai Batu Tiakka’ pada Campuran AC-WC” Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik penggunaan agregat Sungai Batu Tiakka’ dalam Campuran AC-BC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan berupa agregat Sungai Batu Tiakka Kecamatan

Saluputti memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sebagai bahan lapisan perkerasan jalan. Melalui uji Marshall diperoleh karakteristik campuran AC-BC dengan kadar aspal 5,00%, 5,50%, 6,00%, 6,50%, 7,00%. Hasil pengujian *Marshall immersion* campuran AC-BC dengan kadar aspal optimum 7,00% diperoleh Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sebesar 93,47% yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu 90%. Di mana hasil penilitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat Sungai Batu Tiakka Kecamatan Saluputti dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan dalam campuran AC-WC karena memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan penelitian metode eksperimen, yaitu penelitian ini dilakukan dilaboratorium yang bertujuan untuk menyelidiki sebab akibat antara satu sama lain. Proses penelitian ini dilakukan dengan serangkaian pengujian terhadap karakteristik bahan yang digunakan dengan persyaratan yang ditentukan. Selanjutnya dibuat 2 buah sampel masing-masing dengan kadar aspal bervariasi untuk menentukan Kadar Aspal Optimum.

Tabel 3. 1 Sampel Penelitian (*sumber : SNI 4800:2011: spesifikasi pembuatan sampel bricket aspal)*

No.	Kadar Aspal	Sampel
1	4.0%	3
2	4.5%	3
3	5.0%	3
4	5.5%	3
5	6.0%	3
6	6.5%	3
Jumlah Sampel		18

B. Waktu Dan Tempat Penelitian

Adapun waktu dan tempat dilaksanakannya penelitian ini adalah dimulai pada bulan Agustus 2023 sampai pada bulan September 2023 di laboratorium Jalan dan Aspal Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Parepare.

C. Bahan Dan Alat

1. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

a. Agregat kasar yang digunakan berasal dari PT. WIN WAHANA Cipta Marga kabupaten Pinrang.

b. *Filler* atau material lolos saringan No. 200 yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *(Portland Cement).*

c. Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal keras penetrasi 60/70.

2. Alat

Peralatan yang akan digunakan untuk melakukan pemeriksaan material yaitu:

a. Alat untuk pemeriksaan agregat, terdiri dari:

1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
2) Oven
3) Keranjang
4) Talang
5) Piknometer/gelas ukur, dengan kapasitas 500 ml
6) Mesin Los Angeles
7) Bola-bola baja
8) Satu set saringan: 1½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200, Pan.
9) Sendok material.

10) Mesin penggetar untuk saringan *(sieve shacker).*

b. Alat untuk pemeriksaan aspal, terdiri dari:

1) Termometer
2) Kompor gas
3) Piknometer
4) Bejana gelas, tahan terhadap pemanasan mendadak
5) Timbangan
6) Cincin kuningan
7) Bola baja
8) Dudukan benda uji,lengkap dengan pengarah bola baja dan plat dasar.
9) Alat penetrasi
10) Pengukur waktu *(stopwatch)*

c. Alat untuk pengujian marshall, terdiri dari:

1) Kompor
2) Wajan dan sodek
3) Cetakan *(mold)* berbentuk silinder
4) Penumbuk *(compactor)*
5) Pengankat briket (dongkrak hidrolis)
6) *Water bath*
7) Satu set alat marshall terdiri dari kepala penekan yang berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 2500 kg dengan arloji tekan, dan arloji penunjuk kelelehan.

D. Prosedur Penelitian

Tahap pemeriksaan bahan material agregat dan aspal. Berikut pengujian-pengujian yang dilakukan di laboratorium meliputi:

1. Pemeriksaan karakteristik agregat kasar

a. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (bulk), berat jenis kering permukaan jenuh *(Saturated Survace Dry = SSD)*, berat jenis kering semu *(apparent)*, serta untuk mengetahui persentase berat air yang terkandung (dapat diserap) oleh agregat kasar yang dihitung terhadap berat keringnya. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1) Siapkan alat dan bahan.
2) Menyaring benda uji kemudian diambil yang tertahan di saringan No.4 kemudian dicuci untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada agregat.
3) Benda uji direndam dalam air selama 24 jam.
4) Setelah direndam selama 24 jam, kemudian dilap dengan kain sampai selaput air permukaan agregat hilang (dalam keadaan kering SSD) kemudian timbang beratnya.
5) Timbang berat keranjang kosong.
6) Timbang keranjang dan benda uji dalam air.
7) Masukkan benda uji dalam oven pada suhu 110^{o} C selama 24 jam dan keluarkan serta dinginkan lalu timbang berat benda uji kering oven.

b. Keausan agregat kasar (abrasi)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap gesekan atau benturan (keausan) dengan menggunakan mesin Los Angeles. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1) Mengambil benda uji di lapangan kemudian diayak. Tertahan saringan ½" diambil sebanyak 2500 gr dan tertahan saringan 3/8" sebanyak 2500 gr jadi total agregat 5000 gr.
2) Benda uji dioven selama ± 24 jam dengan suhu 110^{o}C, setelah itu dinginkan lalu timbang beratnya.
3) Masukkan benda uji dan bola-bola baja sebanyak 11 biji ke dalam mesin Los Angeles. Putar mesin sebanyak 500 putaran.
4) Setelah selesai pemutaran, mengeluarkan benda uji dari mesin kemudian disaring dengan saringan No. 12.
5) Benda uji yang tertahan saringan No. 12 dicuci, lalu dioven selama ± 24 jam dengan suhu 110^{o}C.
6) Mengeluarkan benda uji dari oven, lalu menimbang beratnya.

c. Analisa saringan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1) Mengambil sampel agregat kasar kemudian dicuci terlebih dahulu, kemudian menimbang berat agregat kasar.

2) Benda uji dikeringkan dalam oven selama dengan suhu selama ± 24 jam dengan suhu 110^{o}C.
3) Benda uji disaring sesuai dengan urutan saringan.
4) Ayak benda uji dengan menggunakan alat penggetar selama 15 menit.
5) Diamkan benda uji sejenak dan menghilangkan debu yang terbang.
6) Timbang agregat yang tertahan diatas tiap saringan.

2. Pemeriksaan karakteristik aspal

a. Berat jenis aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan nilai berat jenis bitumen (aspal). Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1) Memanaskan sampel aspal perlahan-lahan sambil diaduk secara merata hingga mencapai suhu 110 °C.
2) Setelah mencair, aspal dituang kedalam piknometer hingga terisi 2/3 bagian.
3) Mendinginkan sampel dengan cara mendiamkannya beberapa menit
4) Timbang picnometer yang berisi aspal.
5) Masukkan air kedalam picnometer yang sebelumnya telah diisi aspal, isi sampai penuh. Lalu timbang.
6) Bersihkan picnometer sampai tidak ada lagi aspal tersisa didalamnya. Setelah bersih isi air hingga penuh di dalam piknometer, lalu timbang dan catat hasilnya.
7) Membersihkan piknometer, keringkan lalu timbang.

b. Pemeriksaan titik lembek aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan suhu berapa aspal akan mulai melembek atau menentukan nilai atau suhu titik lembek aspal. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1) Memanaskan sampel aspal perlahan-lahan sambil diaduk secara merata.
2) Setelah mencair, aspal dituang ke dalam 2 buah cincin di atas pelat kaca.
3) Mendiamkan 2 buah cincin pada suhu sekurang-kurangnya 8° C di bawah titik lembeknya selama 30 menit.
4) Setelah dingin, permukaan sampel dalam cincin diratakan dengan pisau yang telah dipanaskan.
5) Memasang dan mengatur kedua benda uji di atas dudukan dan meletakkan pengarah bola di atasnya kemudian masukkan seluruh peralatan tersebut ke dalam bejana gelas.
6) Isi bejana dengan air suling baru, dengan suhu ±5°C
7) Meletakkan thermometer di antara kedua benda uji
8) Meletakkan bola-bola baja yang bersuhu 5°C
9) Memanaskan bejana sehingga kenaikan suhu menjadi 5°C per menit.
10) Setelah bola menyentuh dasar bejana akibat pemanasan yang terjadi, percobaan dihentikan lalu hasilnya dicatat.

c. Pemeriksaan kehilangan berat aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat aspal dengan cara pemanasan yang dinyatakan dalam persen. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1) Timbang cawan kosong.
2) Memanaskan aspal keras perlahan-lahan serta aduk hingga cukup cair untuk dapat dituangkan.
3) Setelah aspal keras cair merata, tuangkan ke dalam cawan yang telah disiapkan dan diamkan hingga dingin.
4) Setelah dingin timbang benda uji.
5) Setelah sampel aspal ditimbang, cawan + contoh aspal dioven selama ± 5 jam.
6) Sampel didinginkan pada suhu ruang, kemudian ditimbang.

d. Pemeriksaan penetrasi aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan aspal. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1) Memanaskan aspal keras perlahan-lahan serta mengaduk hingga cukup cair dapat dituangkan. Aduk perlahan lahan agar udara tidak masuk kedalam aspal cair.
2) Setelah aspal keras cair merata, tuang ke dalam cawan yang telah disiapkan dan didiamkan hingga dingin.
3) Menutup benda uji agar bebas dari debu dan didiamkan pada suhu ruang selama 1 jam.

4) Memasukkan benda uji dalam bak perendaman yang telah mencapai suhu yang ditentukan.
5) Memeriksa pemegang jarum agar dapat dipasang dengan baik dan membersihkan jarum penetrasi dengan toluene atau pelarut lain kemudian mengeringkan jarum dengan lap bersih dan memasang jarum pada pemegang jarum.
6) Memindahkan benda uji tersebut pada tempat air yang berada di bawah alat penetrasi.
7) Menurunkan jarum perlahan-lahan sehingga jarum tersebut menyentuh permukaan benda uji.
8) Melepaskan pemegang jarum bersamaan dengan menjalankan stopwatch selama jangka waktu yang di tentukan (5 detik).
9) Memutar arloji penetrometer dan membaca angka penetrasi yang berimpit dengan jarum penunjuk.
10) Melepaskan jarum dari pemegang jarum dan menyiapkan alat penetrasi untuk pekerjaan berikutnya.
11) Melakukan pekerjaan diatas 5 kali untuk benda uji yang sama, dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan dan tepi dinding berjarak lebih dari 1 cm.

3. Pengujian marshall

Tujuan dilakukan pengujian marshall adalah untuk mengetahui karakteristik campuran dan menentukan kadar aspal optimum pada campuran. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

a. Membuka contoh benda uji dari mold.
b. Membersihkan kertas kertas filter.
c. Mengukur ketebalan masing masing benda uji dengan 3 sisi.
d. Benda uji ditimbang kering dan benda uji ditimbang dalam air.
e. Benda uji direndam 10-15 menit lalu ditimbang SSD.
f. Benda uji direndam dalam waterbath dengan suhu 60°C selama 30 – 40 menit. Selang 5 menit benda uji yang lain dimasukkan lagi. Ulangi langkah 6 sampai benda uji terakhir.
g. Benda uji dimasukkan kedalam mold untuk diuji marshallnya.
h. Menyalakan alat uji marshall sampai benda uji rapat pada *proving ring* kemudian mematikan alat lalu nolkan pembacaan.
i. Menyalakan alat kembali sampai jarum pembacaan tidak bergerak lagi atau turun lalu mematikan alat dan catat pembacaan stabilitas dan flow.
j. Menormalkan kembali alat lalu keluarkan benda uji.
k. Melakukan analisis berat jenis dan karakterisitik campuran.
l. Membuat grafik hubungan kadar aspal dengan karakteristik campuran yang telah dianalisis.
m. Memasukkan data spesifikasi kedalam grafik.
n. Menetukan kadar aspal optimum pada campuran.
o. Menghitung kembali karakteristik campuran berdasarkan grafik dan kadar aspal optimum yang digunakan.

E. Teknik Pengumpulan Data

Dalam teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pengumpulan data sekunder dan data primer.

1. Pengumpulan data sekunder

Pada tahapan ini yang dilakukan adalah mengumpulkan data standar sesuai dengan spesifikasi yang ada, serta mencari literatur-literatur terkait dengan penelitian yang akan dilaksanakan.

2. Pengumpulan data primer

Pada tahapan ini mengumpulkan data primer dari hasil pengujian di laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare yaitu:

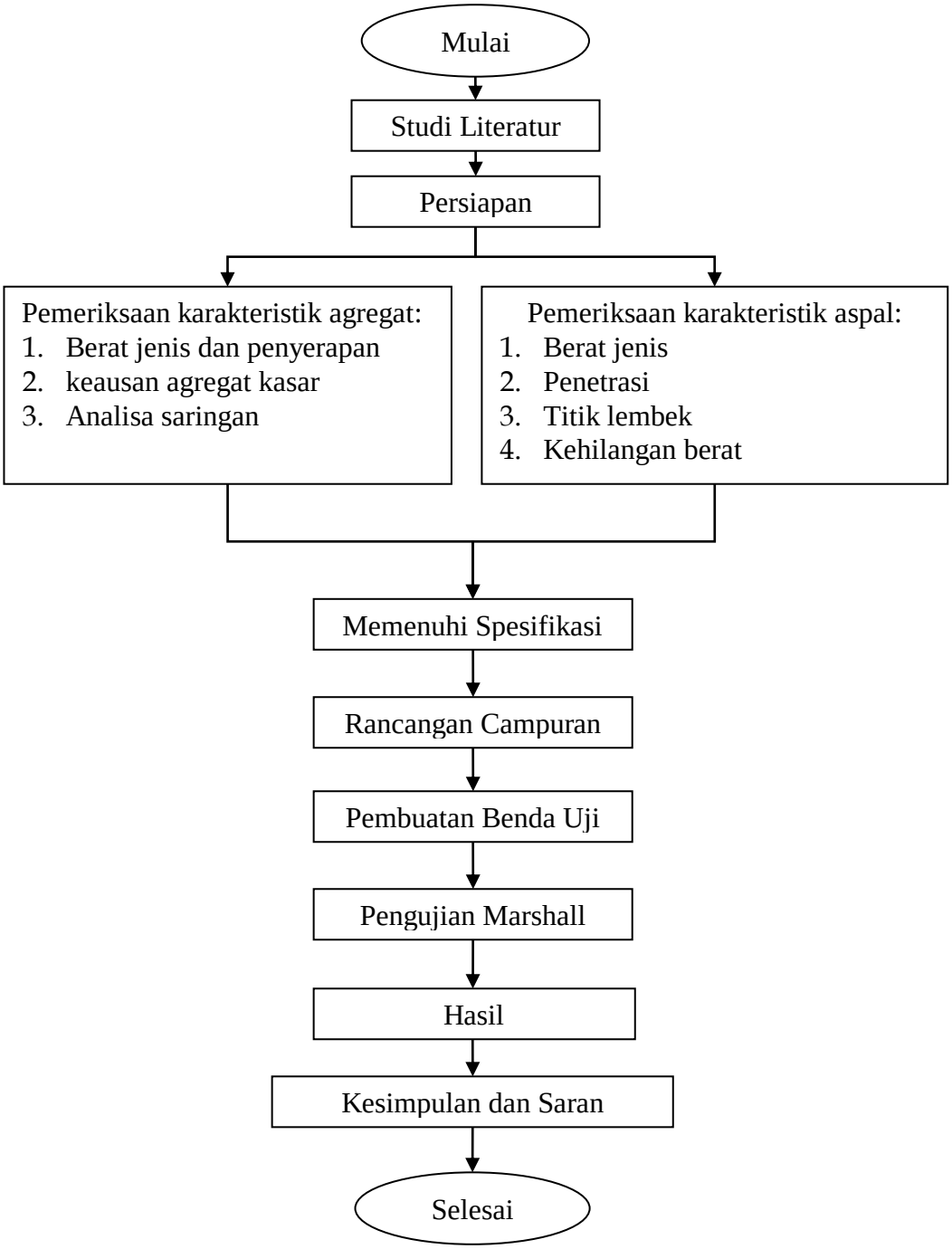
a. Berat jenis dan penyerapan agregat
b. Analisis saringan agregat
c. Pengujian keausan agregat kasar (abrasi)
d. Pemeriksaan penetrasi
e. Pemeriksaan titik lembek
f. Pemeriksaan berat jenis aspal
g. Pemeriksaan kehilangan berat aspal
h. Uji Marshall

F. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pada penelitian adalah metode *marshall*. Konsep *marshall test* dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insiyur perkerasan pada *Mississipi State Highway*. Untuk mendapatkan mutu aspal beton yang baik,

dalam proses perencanaan campuran harus memperhatikan karakteristik campuran aspal beton.

G. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Pemeriksaan berat jenis dan peneyerapan agregat pada penelitian ini terdiri atas pengujian berat jenis agregat kasar dan halus.

1. Berat jenis agregat kasar 1-2

Hasil pengujian terhadap agregat kasar 1-2 berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Berat jenis dan penyerapan agregat kasar 1-2 *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2.73	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2.76			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2.81			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	1.01	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari pengujian berat jenis agregat kasar 1-2 diatas didapat berat jenis bulk 2.73 gr, berat jenis jenuh kering permukaan 2.76 gr, berat jenis semu 2.81 gr, dan penyerapan 1.01 %. Jadi, dari hasil analisis berat jenis agregat kasar 1-2 telah memenuhi spesifikasi yaitu berat jenis minimum 2.5 gr dan penyerapan air maksimal 3 %.

2. Berat jenis agregat kasar 0,5-1

Hasil pengujian terhadap agregat kasar 0,5-1 berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4. 2 Berat jenis dan penyerapan agregat kasar 0,5-1 *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2.56	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2.60			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2.66			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	1.47	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari pengujian berat jenis agregat kasar 0,5-1 diatas didapat berat jenis bulk 2.56 gr, berat jenis jenuh kering permukaan 2.60 gr, berat jenis semu 2.66 gr, dan penyerapan 1.47 %. Jadi, dari hasil analisis berat jenis agregat kasar 1-2 telah memenuhi spesifikasi yaitu berat jenis minimum 2.5 gr dan penyerapan air maksimal 3 %.

3. Berat jenis agregat halus (abu batu)

Hasil pengujian terhadap agregat halus (abu batu) berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4. 3 Berat jenis dan penyerapan agregat halus (abu batu) *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2.66	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2.69			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2.74			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	1.06	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari hasil pengujian berat jenis agregat halus (abu batu) diatas didapat berat jenis bulk 2.66 gr, berat jenis jenuh kering permukaan 2.69 gr, berat jenis semu 2.74 gr, dan penyerapan 1.06 %. Jadi, dari hasil analisis berat jenis agregat halus (abu batu) telah memenuhi spesifikasi yaitu berat jenis minimum 2.5 gr dan penyerapan air maksimal 3 %.

B. Pemeriksaan keausan agregat kasar (abrasi)

Pengujian abrasi merupakan pengujian terhadap daya tahan agregat terhadap kikisan dihubungkan langsung dengan kekuatan hancur dan secara umum cukup aman untuk menganggap agregat dengan kuat hancur yang besar juga mempunyai daya tahan terhadap kikisan besar.

Tabel 4. 4 Hasil pengujian agregat kasar (abrasi) 500 putaran *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

<table>
<tr><th colspan="2">Saringan</th><th colspan="2">Berat</th><th>Spesifikasi</th></tr>
<tr><th>Lolos</th><th>Tertahan</th><th>Sebelum (gr)</th><th>Sesudah (gr)</th><td rowspan="6"></td></tr>
<tr><td>19 mm (3/4")</td><td>12,5 mm (1/2")</td><td>2500</td><td></td></tr>
<tr><td>12,5 mm (1/2")</td><td>9,5 mm (3/8")</td><td>2500</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Jumlah Berat (gram)</td><td>5000</td><td>4315</td></tr>
<tr><td colspan="2">Berat TertahanBerat Tertahan</td><td rowspan="2">5000</td><td rowspan="2">4315</td></tr>
<tr><td colspan="2">Saringan No. 12 (gram)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Persen Keausan</td><td colspan="2">13.7 %</td><td>Maks. 30%</td></tr>
</table>

Dari pengujian agregat kasar (abrasi) menggunakan mesin *Los Angeles* dan diputar sebanyak 500 putaran bersama dengan bola-bola baja sebanyak 11 bola, sehingga diperoleh hasil persen keausan sebesar 13.7 % dan telah memenuhi spesifikasi yaitu maksimal 30 %.

C. Pemeriksaan analisa saringan agregat

Pemeriksaan analisa saringan agregat pada penelitian ini terdiri atas pengujian analisa saringan agregat kasar dan halus.

1. Analisa saringan agregat kasar 1-2

Tabel 4. 5 Hasil analisa saringan agregat kasar 1-2 *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

No. Saringan	SAMPEL 1				SAMPEL 2				Rata - Rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	29,5	0,00	0	98,03	50	0,66	0,66	99,34	98,69
1/2"	818,1	54,54	54,54	45,46	935,1	62,34	63,00	37,00	41,23
3/8"	521,5	34,77	89,31	10,69	415,5	27,70	90,70	9,30	10,00
4	126,3	8,42	97,73	2,27	98,1	6,54	97,24	2,76	2,52
8	0,4	0,03	97,75	2,25	0,8	0,05	97,29	2,71	2,48
16	0	0,00	97,75	2,25	0	0,00	97,29	2,71	2,48
30	0	0,00	97,75	2,25	0	0,00	97,29	2,71	2,48
50	0	0,00	97,75	2,25	0	0,00	97,29	2,71	2,48
100	0	0,00	97,75	2,25	0	0,00	97,29	2,71	2,48
200	0	0,00	97,75	2,25	0	0,00	97,29	2,71	2,48
Pan	4,2	0,28	98,03	1,97	0,5	0,03	97,33	2,67	2,32
Jumlah	1500	98,03			1500,00	97,33			

2. Analisa saringan agregat kasar 0,5-1

Tabel 4. 6 Hasil analisa saringan agregat kasar 0,5-1 *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

No. Saringan	SAMPEL 1				SAMPEL 2				Rata - Rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	0	0	0	100	0	0	0	100	100,00
1/2"	0	0,00	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,00	100,00
3/8"	35,5	2,37	2,37	97,63	14,5	0,97	0,97	99,03	98,33
4	1142,1	76,14	78,51	21,49	1368,1	91,21	92,17	7,83	14,66
8	319,4	21,29	99,80	0,20	116,3	7,75	99,93	0,07	0,14
16	1,1	0,07	99,87	0,13	0,4	0,03	99,95	0,05	0,09
30	0,4	0,03	99,90	0,10	0	0,00	99,95	0,05	0,07
50	0	0,00	99,90	0,10	0	0,00	99,95	0,05	0,07
100	0,3	0,02	99,92	0,08	0	0,00	99,95	0,05	0,06
200	0	0,00	99,92	0,08	0	0,00	99,95	0,05	0,06
Pan	1,2	0,08	100,00	0,00	0,7	0,05	100,00	0,00	0,00
Jumlah	1500	100			1500	100			

3. Analisa saringan agregat halus (abu batu)

Tabel 4. 7 Hasil analisa saringan agregat halus (abu batu) Sampel 1 *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

No, Saringan	SAMPEL 1				SAMPEL 2				Rata - Rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	0	0	0	100	0	0	0	100	100,00
1/2"	0	0,00	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,00	100,00
3/8"	0	0,00	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,00	100,00
4	0	0,00	0,00	100,00	0,8	0,05	0,05	99,95	99,97
8	397,4	26,49	26,49	73,51	124,9	8,33	8,38	91,62	82,56
16	381,6	25,44	51,93	48,07	470,1	31,34	39,72	60,28	54,17
30	235,2	15,68	67,61	32,39	327,2	21,81	61,53	38,47	35,43
50	159	10,60	78,21	21,79	198,4	13,23	74,76	25,24	23,51
100	155,7	10,38	88,59	11,41	251,8	16,79	91,55	8,45	9,93
200	40,7	2,71	91,31	8,69	94,5	6,30	97,85	2,15	5,42
Pan	130,4	8,69	100,00	0,00	32,3	2,15	100,00	0,00	0,00
Jumlah	1500	100			1500	100			

D. Hasil Pemeriksaan Aspal

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap aspal AC 60-70, diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 dengan menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan data selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 8 Hasil pengujian aspal *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Satuan	Ket.
1	Berat jenis aspal	1.02	≥ 1,0	gr/cc	Memenuhi
2	Tititk lembek aspal	48.50	≥ 48	°C	Memenuhi
3	Penetrasi pada 25°C	66.40	60-70	0,1 mm	Memenuhi
4	Kehilangan berat aspal	0.35	≤ 0,8	%	Memenuhi

Dari hasil pengujian diatas diperoleh berat jenis sebesar 1.02 gr/cc, titik lembek sebesar 48.50 °C, Penetrasi pada 25°C sebesar 66.40 mm, Kehilangan berat aspal sebesar 0.35 %.

E. Hasil Rancangan Campuran

1. Hasil gradasi agregat gabungan

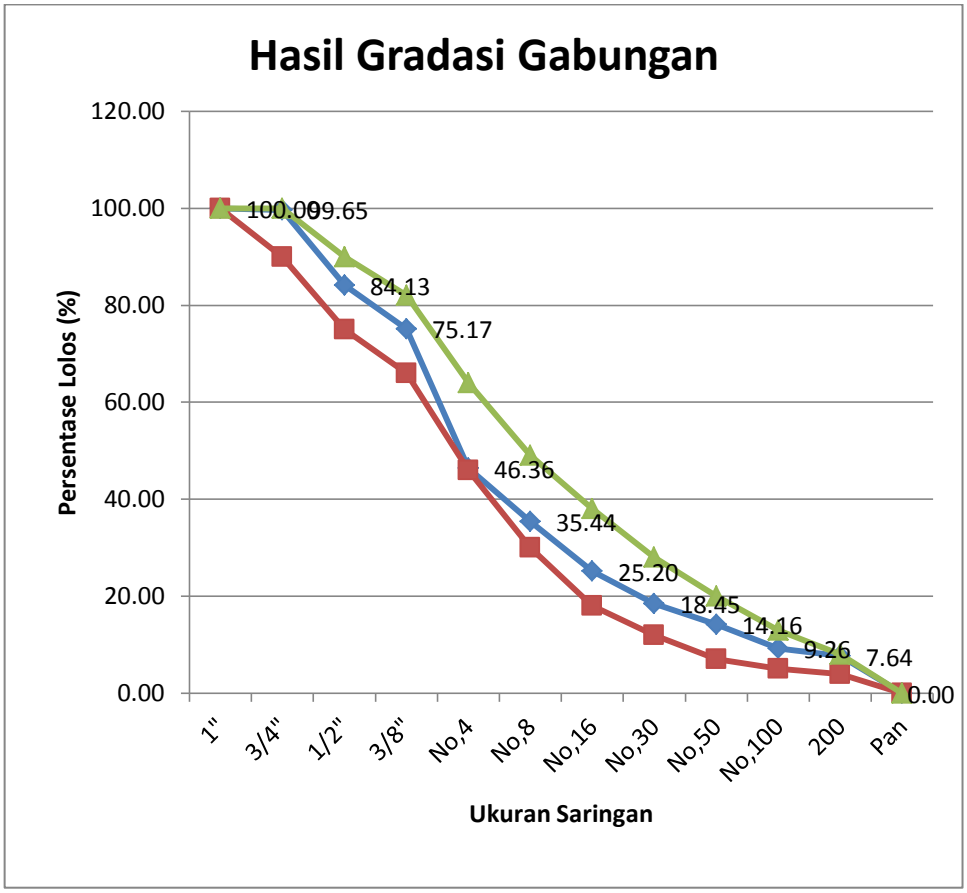
Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil gradasi agregat gabungan *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

Saringan		Gradasi Agregat			
ASTM	(mm)	Agg,1/2	Agg, 0,5/1	Abu Batu	Semen
1"	25	100	100	100	100
3/4"	19	98,69	100,00	100,00	100
1/2"	12,5	41,23	100,00	100,00	100
3/8"	9,5	10,00	98,33	100,00	100
No,4	4,75	2,52	14,66	99,97	100
No,8	2,36	2,48	0,14	82,56	100
No,16	1,18	2,48	0,09	54,17	100
No,30	0,6	2,48	0,07	35,43	100
No,50	0,3	2,48	0,07	23,51	100
No,100	0,15	2,48	0,06	9,93	100
200	0,075	2,48	0,06	5,42	100
Pan		2,32	0,00	0,00	0

Tabel 4. 10 Persentase gradasi agregat gabungan *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

Saringan		27%	32%	36%	5%		Spek,	Keterangan
ASTM	(mm)	Agg,1/2	Agg, 0,5/1	Abu Batu	Semen	Total	AC-WC	
1"	25	27,00	32,00	36,00	5	100,00	100	Memenuhi
3/4"	19	26,65	32,00	36,00	5	99,65	90-100	Memenuhi
1/2"	12,5	11,13	32,00	36,00	5	84,13	75-90	Memenuhi
3/8"	9,5	2,70	31,47	36,00	5	75,17	66-82	Memenuhi
No,4	4,75	0,68	4,69	35,99	5	46,36	46-64	Memenuhi
No,8	2,36	0,67	0,04	29,72	5	35,44	30-49	Memenuhi
No,16	1,18	0,67	0,03	19,50	5	25,20	18-38	Memenuhi
No,30	0,6	0,67	0,02	12,75	5	18,45	12 - 28	Memenuhi
No,50	0,3	0,67	0,02	8,46	5	14,16	7 - 20	Memenuhi
No,100	0,15	0,67	0,02	3,57	5	9,26	5 - 13	Memenuhi
200	0,075	0,67	0,02	1,95	5	7,64	4 - 8	Memenuhi
Pan		0,63	0,00	0,00	0	0,63	0	Memenuhi



Gambar 4. 1 Grafik hasil gradasi agregat gabungan
(Sumber: Hasil Pengolahan Data 2023)

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada table diatas.Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk campuran AC-WC harus berada di antara batas atas dan batas bawah yang sesuai dengan spesifikasi. Dari hasil gradasi agregat gabungan diatas telah memenuhi batas-batas spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

2. Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji

Dari hasil analisa gradasi agregat gabungan diatas, didapat perhitungan berat agregat yang diperlukan seperti pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji *(Sumber: Hasil Pengolahan Data 2023)*

Mediafire (%)	**Kadar Mediafire** (gr)	**Kadar Aspal (%)**	**Aspal Dingin**	**Agregat 1-2**	**Agregat 0,5-1**	**Abu Batu**	**Semen**
			(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
5%	60	4,50%	54	309,42	366,72	412,56	57,3
5%	60	5,00%	60	307,8	364,8	410,4	57
5%	60	5,50%	66	306,18	362,88	408,24	56,7
5%	60	6,00%	72	304,56	360,96	406,08	56,4
5%	60	6,50%	78	302,94	359,04	403,92	56,1

Untuk pembuatan rancangan campuran rencana (RCR), slag dan agregat (bila diperlukan) diambil dari bin panas. Selanjutnya, tentukan komposisi masing-masing fraksi slag dan agregat serta bahan pengisi (bila diperlukan) sesuai gradasi jenis campuran yang akan dirancang. Pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan Metode pengujian Marshall sesuai ASTM D6927-06 atau ASTM D5581-07a. Perhitungan volumetrik campuran dapat dilakukan sesuai AASHTO M 323. Perhitungan perkiraan kadar aspal rancangan, yaitu salah satu rumus untuk menghitung perkiraan kadar aspal rancangan adalah :

$P = 0{,}035a + 0{,}045b + cK + F$

$P = 0{,}035\ (35{,}44) + 0{,}045\ (74{,}71) + (0{,}626 \times (0{,}18)) + 1{,}18$

$P = 5{,}89$

Keterangan:

P : adalah perkiraan kadar aspal dalam campuran (% berat campuran).

a : adalah persentase agregat yang tertahan saringan 2,36 mm (No. 8).

b : adalah persentase agregat yang lolos saringan 2,36 mm (No. 8) dan tertahan saringan 0,075 mm (No. 200).

C : adalah persentase agregat yang lolos saringan 0,075 mm (No. 200).

K : adalah 0,18 apabila 6--10% agregat lolos saringan 0,075 mm (No. 200). Adalah 0,20 apabila 5% agregat lolos saringan 0,075 mm (No. 200).

F : adalah 0-2,0%; tergantung pada penyerapan agregat. Apabila tidak ada data, maka nilai F yang disarankan untuk digunakan adalah sebesar 0,7%.

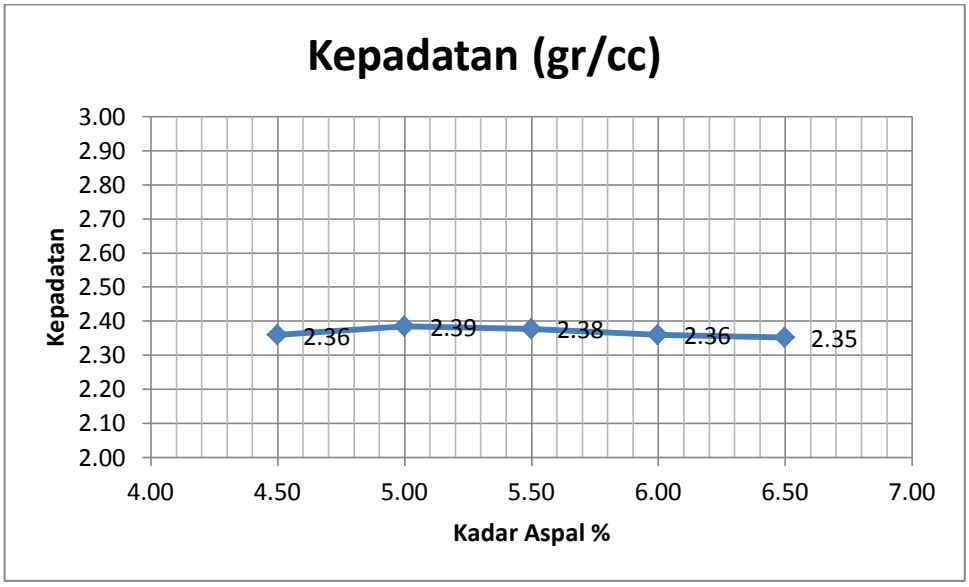
Dari hasil kadar perhitungan kadar aspal rencana akan di buktikan dengan metode mengetes semua sampel dengan kadar aspal yang berbeda beda mulai dari 4,5% sampai dengan 6,5% dengan ketelitian 0,5

F. Hasil Pengujian Marshall

1. Kepadatan

Tabel 4. 12 Kepadatan

Kadar Aspal	Kepadatan (gr/cc)
4,50	2,36
5,00	2,39
5,50	2,38
6,00	2,36
6,50	2,35



Gambar 4. 2 Kepadatan

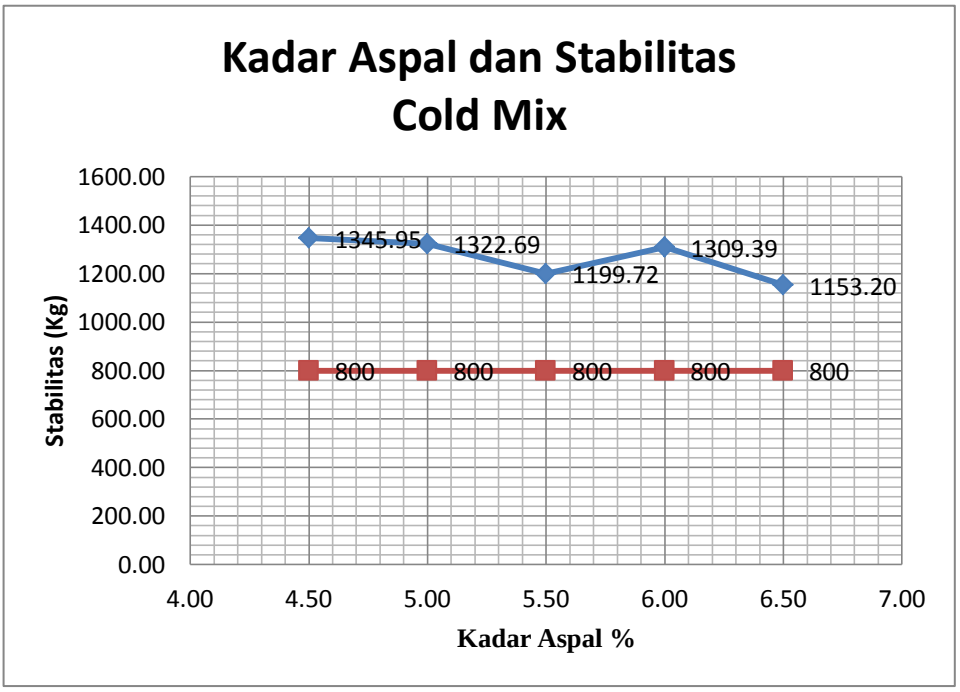
Dari hasil pengujian nilai kepadatan paling tinggi pada kadar aspal 5% sebesar 2,69 dan paling rendah 6,5% sebesar 2,35.

2. Stabilitas

Stabilitas adalah ketahana lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya, tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian dengan alat *marshall*. Selanjutnya dicocokan dengan angka kalibrasi *proving ring* dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji. Berikut ini adalah tabel dan gambar hubungan kadar aspal dan stabilitas:

Tabel 4. 13 Hasil pengujian stabilitas *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

Stabilitas (Kg)	Spesifikasi		Keterangan
	Min	Maks	
1345,95	800	-	Memenuhi
1322,69	800		Memenuhi
1199,72	800		Memenuhi
1309,39	800		Memenuhi
1153,20	800		Memenuhi



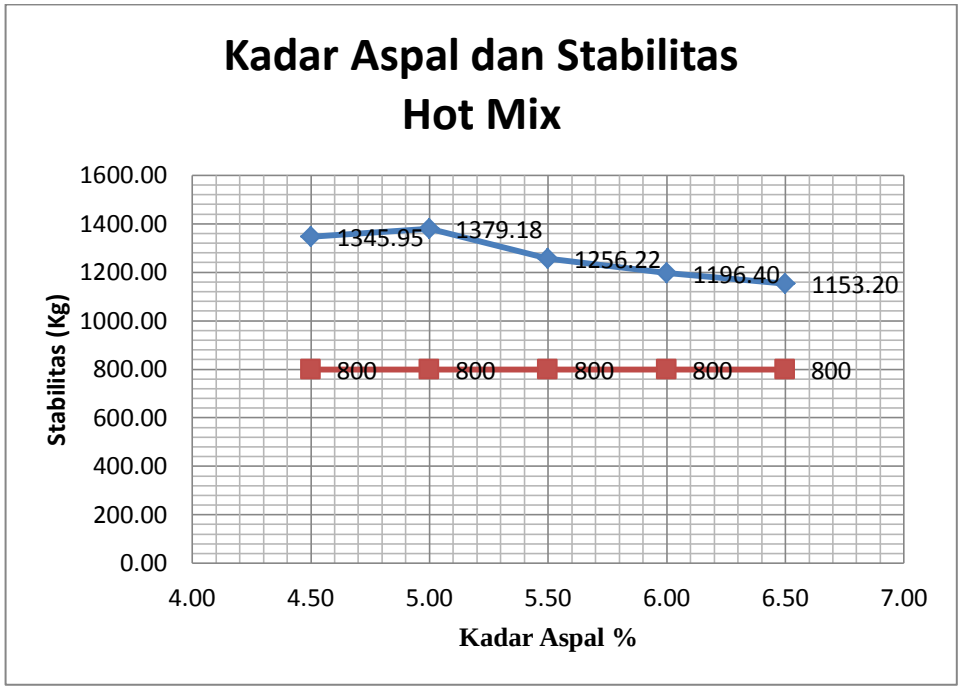
Gambar 4. 3 Grafik hubungan kadar aspal dan stabilitas *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium2023)*

Dari gambar 4.2 grafik menunjukan hubungan stabilitas dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik nilai stabilitas tertinggi yaitu pada kadar aspal 4,5 % sebesar 1345,95 kg, dan nilai stabilitas terendah yaitu pada kadar aspal 6,5 % sebesar 1153,2 kg.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai stabilitas minimum untuk lalu lintas berat yaitu 800 kg,

sehingga semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.11.

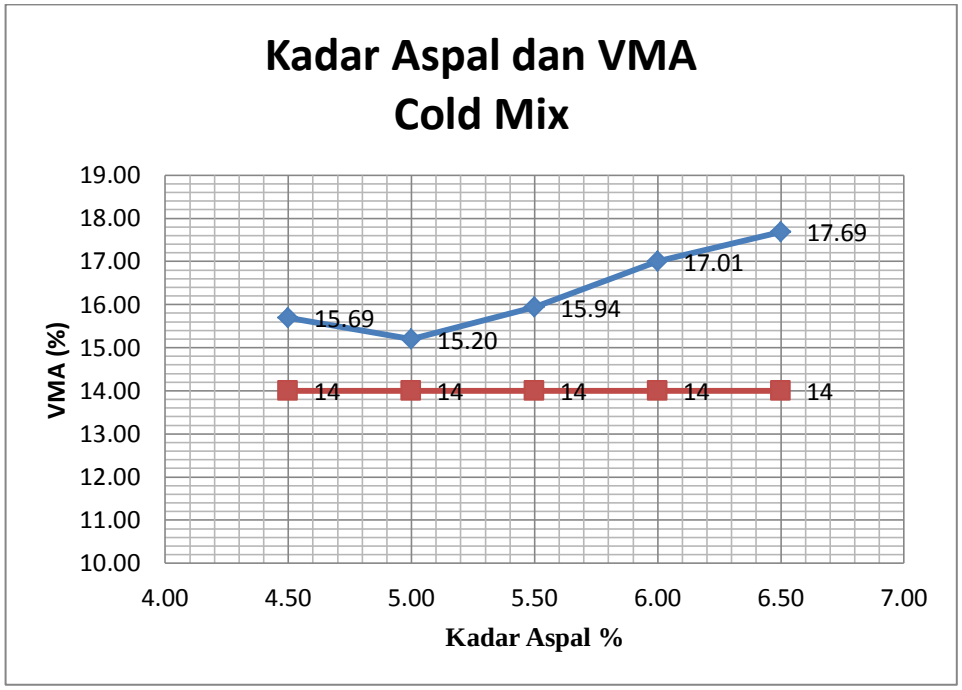
Adapun grafik stabilitas untuk Hot Mix AC- WC sebagai berikut terdapat pada gambar 4.4 dan Hot Mix AC - WC Lebih Bagus disbanding Cold Mix AC-WC.



Gambar 4. 4 Grafik hubungan kadar aspal dan stabilitas
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

3. Rongga diantara agregat (VMA)

VMA *(void in mineral agregate)* merupakan kadar persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Hubungan antara VMA dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.



Gambar 4. 5 Grafik hubungan kadar aspal dan VMA
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

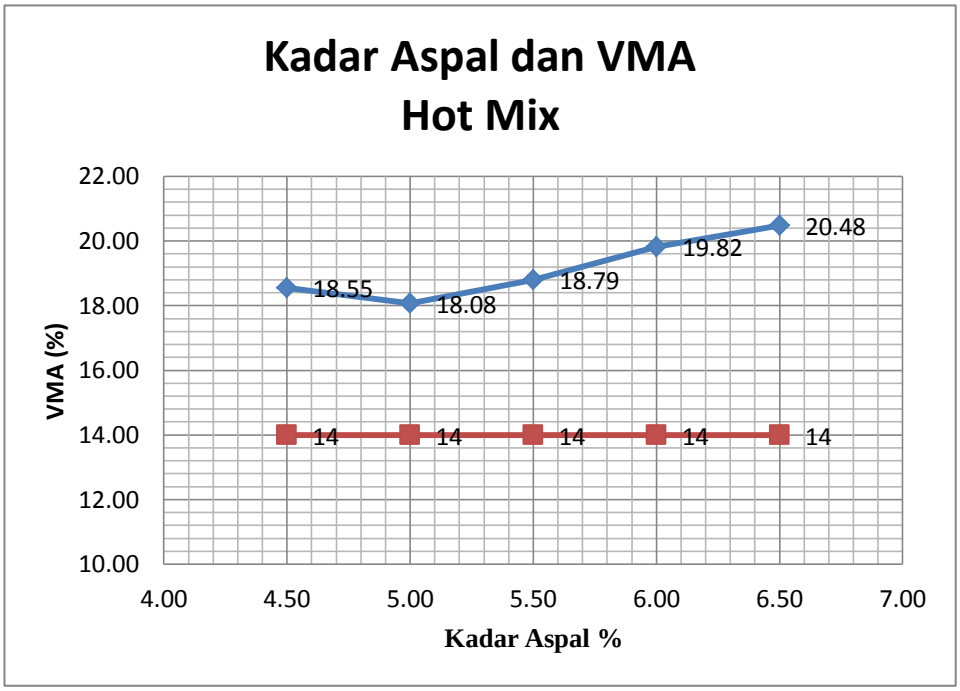
Tabel 4. 14 Hasil pengujian VMA *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

Nilai VMA (%)	Spesifikasi		Keterangan
	Min	Maks	
15,69	14	-	Memenuhi
15,20	14		Memenuhi
15,94	14		Memenuhi
17,01	14		Memenuhi
17,69	14		Memenuhi

Berdasarkan gambar 4.3 grafik menujukan nilai VMA (Void In Mineral Aggregate) pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 %, yaitu nilai VMA tertinggi 17,69% pada kadar aspal 6,5% dan terendah 15.2% pada kadar aspal 5%. Ditinjau dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VMA (Void In Mineral Aggregate) minimal 14 %,

jadi semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.12.

Adapun grafik VMA untuk Hot Mix AC- WC sebagai berikut terdapat pada gambar 4.6 dan Hot Mix AC - WC Lebih Bagus disbanding Cold Mix AC-WC.



Gambar 4. 6 Grafik hubungan kadar aspal dan VMA

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

4. Rongga Terhadap Campuran (VIM)

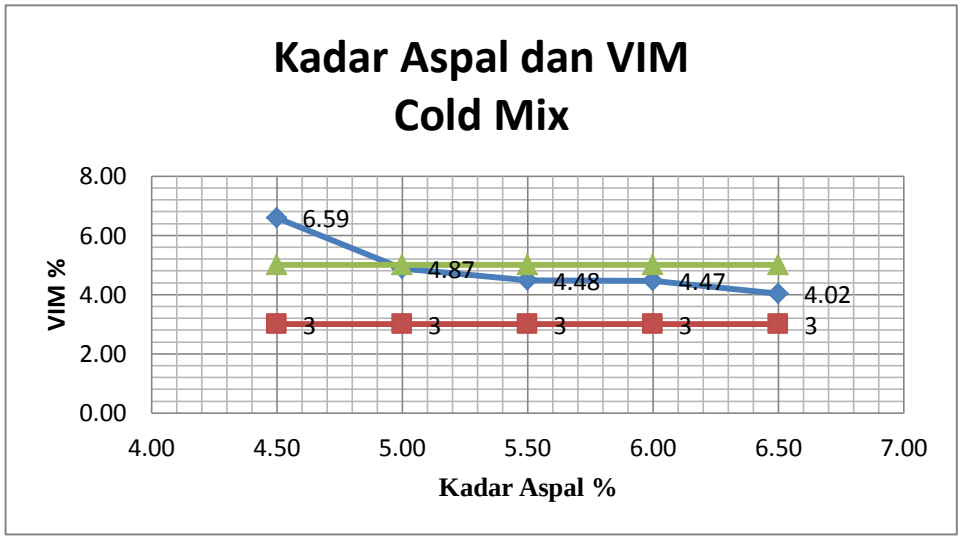
VIM *(void in the mix)* merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Jika nilai VIM (Void In Mix) yang terlampau tinggi berkurangnya keawetan dari lapis keras karena rongga yang terlalu besar akan memudahkan masuknya air dan udara kedalam lapis perkerasan. Udara akan mengoksidasi aspal sehingga selimut aspal menjadi tipis dan kohesi aspal

menjadi berkurang. Jika hal ini terjadi maka akan menyebabkan terjadi lepasnya butiran (raveling), sedangkan air akan melarutkan bagian aspal yang tidak teroksidasi sehingga pengurangan jumlah aspal akan lebih cepat.

Nilai VIM yang terlampau rendah akan menyebabkan mudah terjadinya bleading pada lapis keras. Selain bleading, dengan VIM yang rendah kekakuan lapis keras akan mengalami retak dan pecah (cracking) apabila menerima beban lalulintas karena tidak cukup lentur untuk menerima deformasi yang terjadi.Hubungan antara VIM dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 4. 15 Hasil pengujian VIM *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

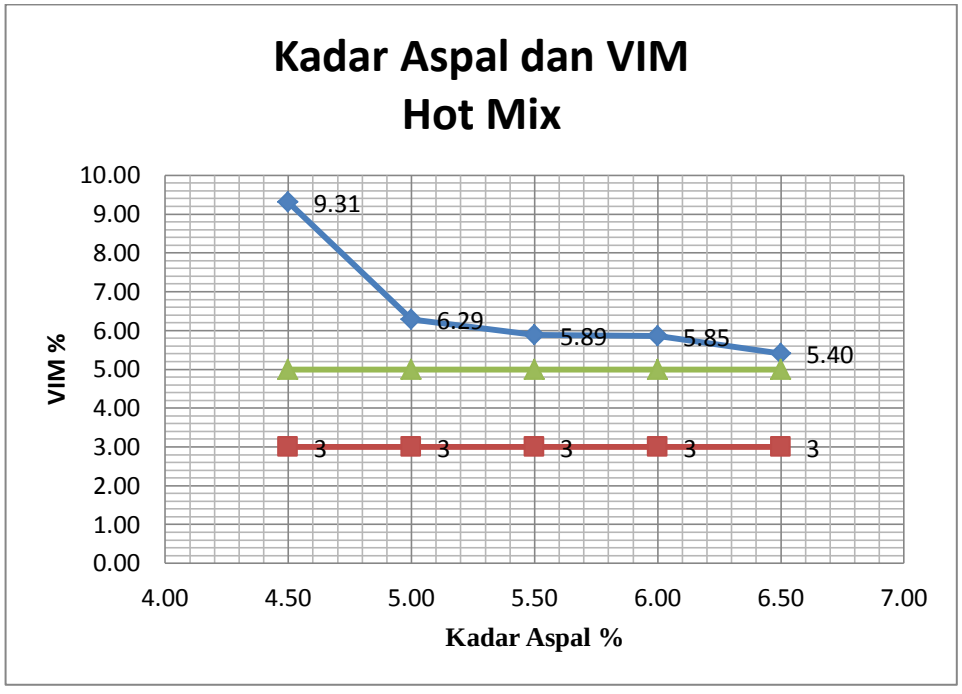
Nilai VIM (%)	Spesifikasi		Keterangan
	Min	Maks	
6,59	3	5	Tidak Memenuhi
4,87	3	5	Memenuhi
4,48	3	5	Memenuhi
4,47	3	5	Memenuhi
4,02	3	5	Memenuhi



Gambar 4. 7 Grafik hubungan kadar aspal dan VIM
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium2023)

Dari gambar 4.4 grafik menunjukan hubungan stabilitas dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami penurunan dengan nilai VIM sebesar 6,59 %, 4,87 %, 4,48 %, 4,47 %, dan 4,02 %. Berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VIM (Void In Mix) yang memenuhi persyaratan yaitu sebesar 3% - 5 %. Nilai VIM (Void In Mix) yang memenuhi persyaratan yaitu pada kadar aspal 5% sampai dengan 6.5%.

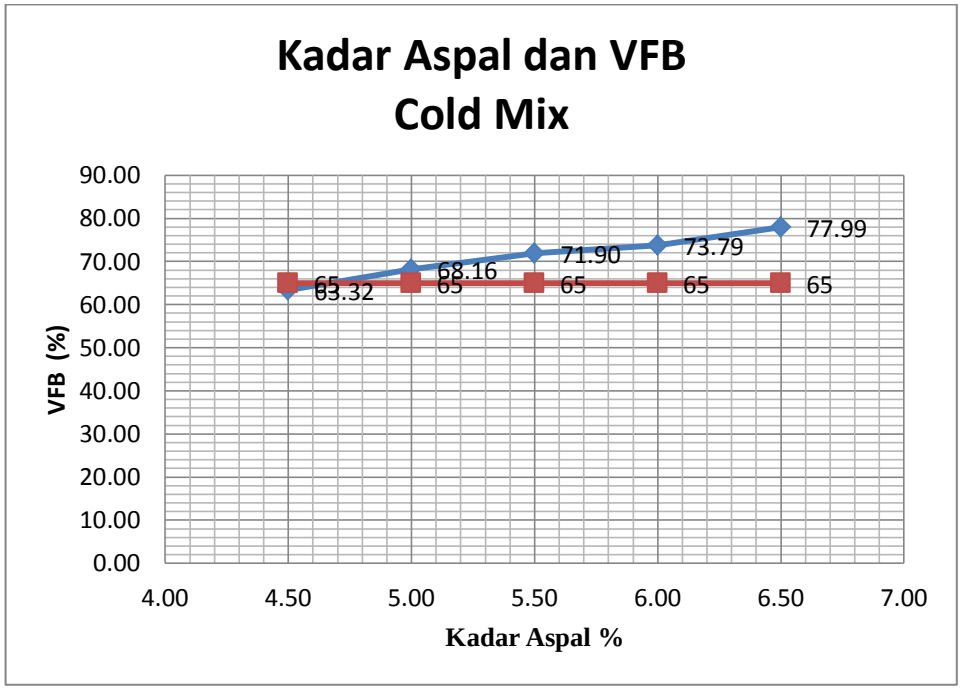
Adapun grafik VIM untuk Hot Mix AC- WC sebagai berikut terdapat pada gambar 4.8 dan Cold Mix AC – WC Lebih Bagus disbanding Hot Mix AC-WC karena pada hot mix tidak ada yang memenuhi spesifikasi.



Gambar 4. 8 Grafik hubungan kadar aspal dan VIM
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium2023)

5. Rongga terisi aspal (VFB)

VFB (Void Filled Bitumen), menyatakan prosestase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan. Hubungan antara VIM dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.



Gambar 4. 9 Grafik hubungan kadar aspal dan VFB
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Tabel 4. 16 Hasil pengujian VFB *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

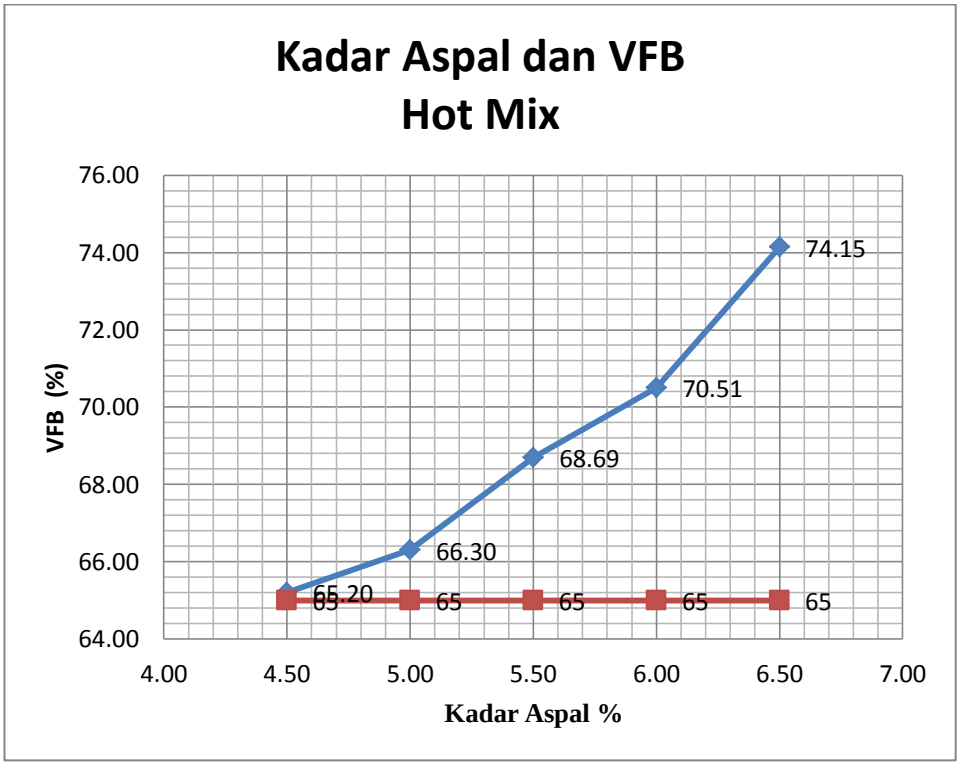
Nilai VFB (%)	Spesifikasi		Keterangan
	Min	Maks	
63,32	65	-	Tidak memenuhi
68,16	65		Memenuhi
71,90	65		Memenuhi
73,79	65		Memenuhi
77,99	65		Memenuhi

Dari gambar 4.5 grafik menunjukan hubungan VFB dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan, dengan nilai

VFB paling tinggi yaitu pada kadar aspal 6,5% dengan nilai 77,99 % dan terendah pada kadar aspal 4,5% dengan nilai 63,32%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar kadar aspal yang digunakan semakin meningkat nilai VFB.

Berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VFB minimal 65 %. Nilai VFB yang memenuhi persyaratan yaitu pada kadar aspal 5 % sampai dengan 6.5%.

Adapun grafik VFB untuk Hot Mix AC- WC sebagai berikut terdapat pada gambar 4.10 dan Hot Mix AC - WC Lebih Bagus disbanding Cold Mix AC-WC.



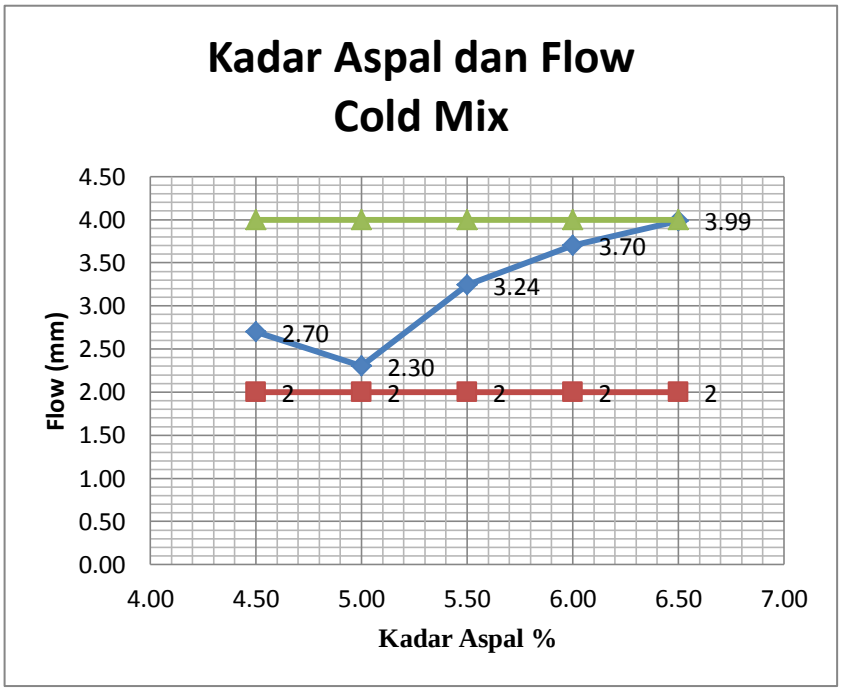
Gambar 4. 10 Grafik hubungan kadar aspal dan VFB
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

6. Flow

Hubungan antara flow dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 4. 17 Hasil pengujian Flow *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

Nilai Flow (mm)	Spesifikasi		Keterangan
	Min	Maks	
2,70	2	4	Memenuhi
2,30	2	4	Memenuhi
3,24	2	4	Memenuhi
3,70	2	4	Memenuhi
3,99	2	4	Memenuhi



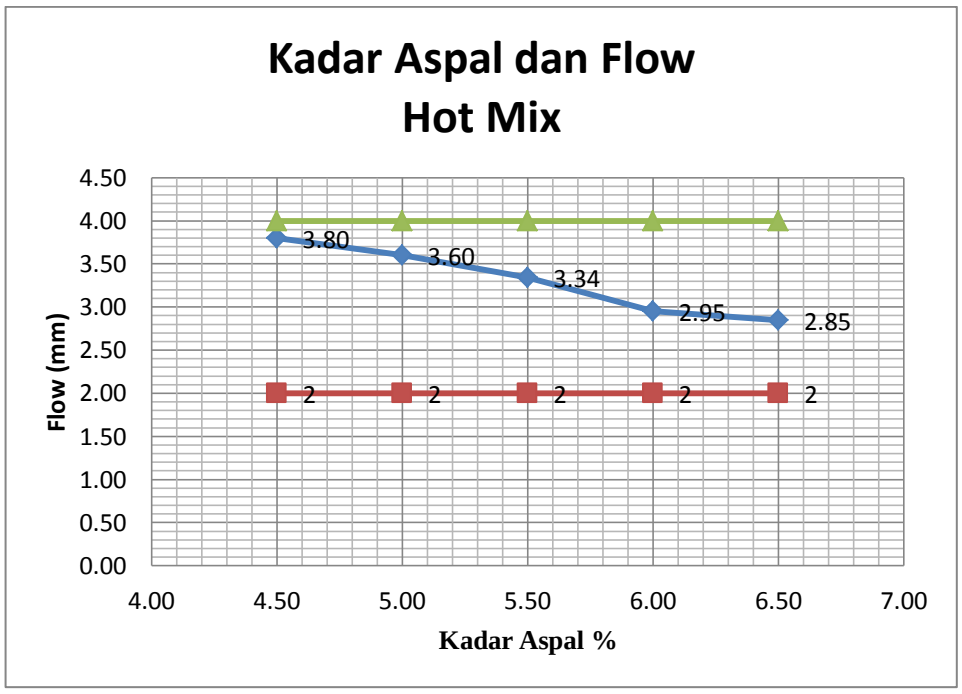
Gambar 4. 11 Grafik hubungan kadar aspal dan Flow
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Dari gambar 4.6 grafik menunjukan hubungan flow dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik nilai flow tertinggi yaitu pada kadar aspal 6,5 %

sebesar 3,99 mm dan nilai flow terendah yaitu pada kadar aspal 5 % sebesar 2,3 mm.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai flow yang memenuhi persyaratan yaitu 2 mm – 4 mm, sehingga semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.15.

Adapun grafik Flow untuk Hot Mix AC- WC sebagai berikut terdapat pada gambar 4.12 dan Hot Mix AC - WC Lebih Bagus disbanding Cold Mix AC-WC.



Gambar 4. 12 Grafik hubungan kadar aspal dan Flow
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

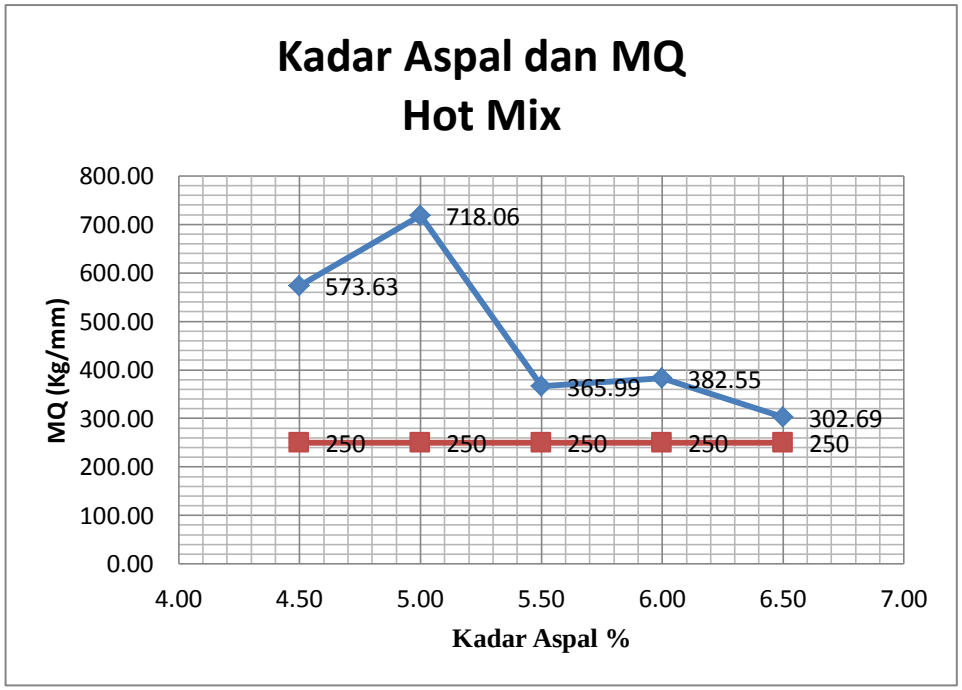
7. Marshall quotient (MQ)

Nilai Marshall Quotient (MQ) yaitu dari hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (flow) merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan

dan fleksibilitas komposisi campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* (QM) bertanda komposisi campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil *Marshall Quotient* (QM) maka perkerasanya semakin lentur. Hubungan antara MQ dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 4. 18 Hasil pengujian *Marshall Quotient* (QM) *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)*

Nilai MQ (Kg/mm)	Spesifikasi		Keterangan
	Min	Maks	
573,63	250	-	Memenuhi
718,06	250		Memenuhi
365,99	250		Memenuhi
382,55	250		Memenuhi
302,69	250		Memenuhi

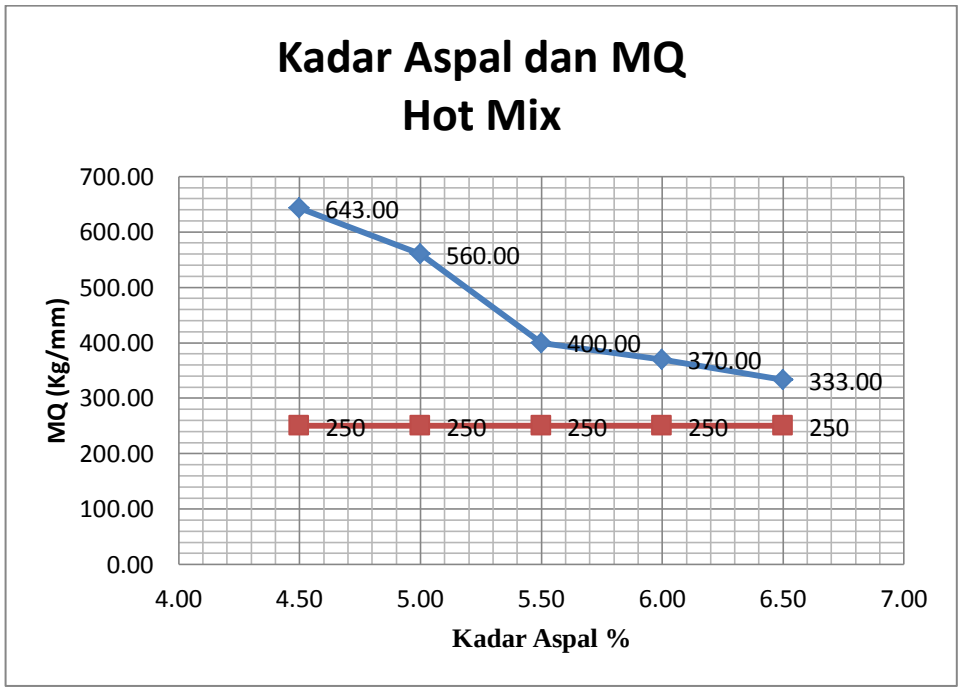


Gambar 4. 13 Grafik hubungan kadar aspal dan MQ
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Dari gambar 4.7 grafik menunjukan hubungan flow dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik nilai MQ tertinggi yaitu pada kadar aspal 5 % sebesar 718,06 mm/kg dan nilai MQ terendah yaitu pada kadar aspal 6,5 % sebesar 302,69 mm/kg.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai MQ yang memenuhi persyaratan yaitu minimal 250 mm/kg, sehingga semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.16.

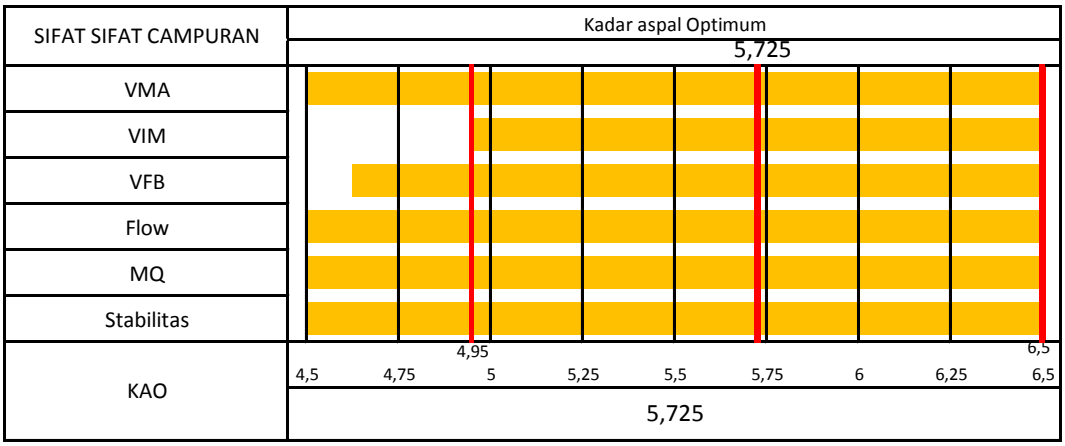
Adapun grafik MQ untuk Hot Mix AC- WC sebagai berikut terdapat pada gambar 4.14 dan Hot Mix AC - WC Lebih Bagus disbanding Cold Mix AC-WC.



Gambar 4. 14 Grafik hubungan kadar aspal dan MQ
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

8. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum adalah jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agar dapat tercapai mencapai persyaratan Stabilitas, Flow, VMA, VIM, *density* dan *Marshall Quotient*. Dalam penentuan kadar aspal optimum untuk menetepkan berapa besarnya kadar aspal efektif dalam campuran yang diperlukan untuk pembuatan benda uji baru dengan komposisi agregat sama namun dengan kadar aspal optimum yang telah ditentukan. Berikut nilai kadar aspal optimum yang telah ditentukan. Berikut nilai kadar aspal optimum yang diperoleh dari pengujian marshall terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 15 Diagram penentu kadar aspal optimum
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{\text{KA Min+KA maks}}{2} = \frac{4{,}95\ \%+6.5\ \%}{2} = 5{,}725\ \%$$

Berdasarkan gambar 4.8 diagram menujukan nilai stabilitas, VMA, VIM, VFB, Flow, dan Marshall Quotient yang memenuhi spesifikasi untuk semua karakteristik dalam campuran 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, dan 6.5%. Sehingga nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh adalah 5,725%.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian penggunaan Agregat Pada Campuran Aspal Dingin Cold Mix Lastbutag Ac-Wc yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiya Parepare, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik campuran aspal dingin AC-WC pada kadar aspal optimum dinyatakan dalam sifat-sifat berikut:
   a. Stabilitas

      Nilai stabilitas maksimum pada kadar aspal 4,5% sebesar 1345,95 kg dan minimum pada kadar aspal 5.5% sebesar 1199.27 kg.

   b. Persen rongga diantara agregat (VMA)

      Nilai VMA maksimum pada kadar aspal 6.5% sebesar 17.69% dan minimum pada kadar aspal 5% sebesar 15.20 %.

   c. Persen rongga dalam campuran (VIM)

      Nilai VIM maksimum pada kadar aspal 4.5% sebesar 6.59 % dan minimum pada kadar aspal 6.5% sebesar 4,02%.

   d. Persen rongga terisi aspal (VFB)

      Nilai VFB maksimum pada kadar aspal 6.5% sebesar 77.99% dan minimum pada kadar aspal 4.5% sebesar 63.32 %.

e. Flow

Nilai flow maksimum pada kadar aspal 6.5% sebesar 3.99 mm dan minimum pada kadar aspal 5% sebesar 2.3 mm.

f. Marshall Quatinet (MQ)

Nilai MQ maksimum pada kadar aspal 5% sebesar 718,06 mm/kg dan minimum pada kadar aspal 6,5% sebesar 302,69 mm/kg.

g. KAO

Nilai karakteristik yang telah diperoleh melalui pengujian marshall dengan hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh adalah 5.275%.

2. Dari hasil penelitian penggunaan Agregat Pada Campuran Aspal Dingin Cold Mix Lastbutag Ac-Wc telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan layak digunakan dalam campuran aspal beton AC-WC.

B. Saran

1. Masih perlu lebih banyak lagi untuk melakukan penelitian lebih lanjut terhadap karakteristik campuran aspal dingin AC-WC menggunakan material dengan komposisi campuran yang berbeda.
2. Untuk kontraktor sekiranya agar mempertimbangkan penggunaan Agregat Pada Campuran Aspal Dingin Cold Mix Lastbutag Ac-Wc dalam konstruksi perkerasan jalan

DAFTAR PUSTAKA

Achmad, F. (2010). Tinjauan Sifat-Sifat Agregat Untuk Campuran Aspal Panas. *Saintek Vol 5, No 1*, 1-10.

Anggraini, M. (t.thn.). Perbandingan Gradasi Agregat Gabungan Campuran Ac-Wc Sebelum Dan Setelah Penghamparan Dengan Job Mix Formula. *Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning*, 1-16.

Ardhian Hendy.,et.al. 2016. Pengaruh Penggunaan Asbuton Butir Pada Campuran Laston. Universitas Kristen Petra.

Asrol, S. M. (2018). Karateristik Campuran Aspal Beton AC-WC Dengan Subtitusi Buton Rock Asphalt Terhadap Rendaman Air Berlumpur . *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Syiah kuala, Banda Aceh*, 1-7.

Dionisius Natan Wurara, O. H. (2018). Kajian Perbedaan Campuran Beraspal Panas Yang. *Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.12 Desember 2018 (1095-1104) ISSN: 2337-6732*, 1-10.

Direktorat jenderal bina marga, 2010, spesipikasi umum, edisi 2010 (Rev. 3).

Djoko Sarwono.g.,et.al. 2017.Karakteristik Ekstrak Asbuton dengan Metode Asbuton Emulsi Menggunakan Peremaja Oli Bekas dan Karakteristik Penambahan Ekstrak Asbuton Emulsi pada Aspal Penetrasi 60/70 Sebagai Modifikasi Bitumen (Semarbut Aspal Tipe III). Universitas SebelasMaret.

Fani., Irianto., Elizabeth., & Alpius. (2019). Paulus Civil Engineering Journal. *Pemanfaatan Agregat Sungai Wanggar Kabupaten Nabire sebagai Bahan Campuran AC-WC dan AC-BC.* 1(2): 27-36.

Husni, W. D. (2020). *Pengaruh Kadar Filler Abu Batu terhadap Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Beton AC-BC.* Skripsi tidak dipublikasikan. Mataram: Universitas Muhammadiyah Mataram.

I Nyoman Arya Thanaya, I. G. (2016). Studi Karateristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Penambahan Lateks. *Jurnal Ilmu dan Terapan Bidang Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana*, 1-10.

Indira, A. M. (2017). Evaluasi Gradasi Agregat Pada Campuran AC-WC Menggunakan Teori Fractal . *Jurnal Karya Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro*, 1-11.

Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*: Direktorat Jendral Bina Marga.

Mas Nurjana. 2020. Optimasi Kadar Aspal Pertamina Terhadap Karakteristik Aspal Beton (AC-WC) Menggunakan Variasi Agregat Batuan Lokal Gunung Balapulang. Universitas Pancasakti Tegal.

Mansyur Kartini.,et.al. 2012. Studi Penggunaan Kapur Sebagai Bahan Aditif Terhadap Karakteristik Campuran Beton Aspal Lapis Aus (Ac-Wc).

Palimbunga, G. P., Rachman, R., & Alpius. (2020). Paulus Civil Engineering Journal. *Penggunaan Agregat Sungai Batu Tiakka' pada Campuran AC-WC.* 2(2): 112-118.

Rante, G., Alpius., & Bestari, S. Paulus Civil Engineering Journal. *Pemanfaatan Batu Gunung Tambolang Kabupaten Toraja Utara pada Campuran Laston AC-BC.* 3(2): 238-246.

Rizky, N. (2021). *Pengaruh Substitusi Styrofoam pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Caurse (AC-BC) dengan Pengujian Marshall.* Skripsi tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Setiawan Arif. 2011. Studi Penggunaan Asbuton Butir Terhadap Karakteristik Marshall Asphaltic Concrete Course Asbuton Campuran Hangat (AC-WC-ASB-H). Universitas Brawijaya

Suhardi, P. P. (2016). Studi Karateristik Marsshall pada campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jurnal Teknik Sipil*, 1-9.

Sukarman, S. (. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas.* Indonesia.: Yayasan Obor Indonesia.

Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas.* Bandung: Institut Teknologi Nasional.

Sulaiman. (2012). Ketahanan Agregat Alam Krueng Peudada Pada Campuran Laston AC-WC berdasarkan Variasi Tumbukan. *Jurnal Portal* , 1-10.

Supriadi.T., et.al.2014. Perkerasan Campuran Aspal Ac-Wc Terhadap Sifat Penuaan Aspal. Dosen Prodi Teknik Sipil FT. UNTAN.

Whinda Pratiwi., et.al. 2014. *Pengaruh Asbuton Terhadap Karakteristik Marshall Perkerasan Daur Ulang Dengan Peremaja Oli Bekas Dan Solar.*