

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Transportasi adalah proses perpindahan manusia atau barang dari suatu tempat ke tempat yang lain dengan menggunakan sebuah kendaraan yang digerakkan oleh manusia ataupun mesin. Banyak negara di dunia yang selalu mengandalkan transportasinya sebagai alat berpindah tempat. Di Negara berkembang yaitu di Indonesia transportasi sangatlah di perlukan terutama transportasi daratnya di karenakan di Indonesia merupakan negara memiliki banyak pulau yang besar. Seiring perkembangan dan peningkatan jumlah penduduk yang semakin meningkat jumlah kebutuhan kendaraan semakin meningkat pula. Untuk menciptakan transportasi yang baik, harus memiliki sarana dan prasarana yang memadai khususnya jalan raya (Lalu Mawardi, 2020).

Perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis yaitu perkerasan lentur, perkerasan kaku dan perkerasan komposit. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat , sedangkan perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat dan perkerasan komposit (*composite pavement*) dimana sebagai lapis bawah digunakan struktur beton sedangkan lapis permukaan digunakan aspal. Perkerasan lentur adalah perkerasan yang sangat banyak digunakan dibandingkan dengan perkerasan kaku.

Genangan air hujan di atas permukaan jalan yang selalu terjadi di musim penghujan mengakibatkan gangguan kenyamanan bagi pengendara. Karakter flexible pavement yang kedap terhadap air dan drainase yang buruk mendukung fenomena tersebut. Hal tersebut mengurangi resapan air hujan dan mempercepat kerusakan jalan, Aspal porus merupakan salah satu inovasi untuk meningkatkan resapan air hujan dan untuk mengurangi adanya genangan air di atas jalan.

Fungsi aspal porus biasanya digunakan pada jalan yang memiliki beban lalu lintas yang rendah seperti tempat parkir, lapangan tenis, lorong-lorong kecil yang hanya dilalui kendaraan ringan, aspal porus (*porous asphalt*) merupakan campuran bergradasi terbuka dengan persentase agregat kasar yang besar, persentase agregat halus yang kecil, sehingga menyediakan rongga udara yang besar. Rongga udara ini diharapkan dapat meloloskan atau memberikan ke-luasaan air yang berada di lapis permukaan untuk dapat di alirkan ke dalam rongga aspal secara vertikal dan horizontal serta menyalurkannya dalam system drainase perkerasan.

Ditinjau dari segi kenyamanan pengguna jalan, kondisi fisik dari jalan seperti tingkat kekerasan aspal, genangan air dipermukaan jalan, dan sebagainya adalah hal penting, apabila terjadi genangan di atas permukaan jalan kemudian air tersebut dapat dialirkan atau di teruskan pada rongga aspal tersebut tetapi yang diinginkan aspal porus terhadap air dan memiliki karakteristik marshall serta memiliki nilai permeabilitas yang baik.

Aspal porus adalah campuran aspal dengan kadar pasir yang rendah untuk mendapatkan ruang pori yang tinggi. Dengan adanya ruang pori yang tinggi

diharapkan dapat meresapkan air. Jenis perkerasan aspal porus merupakan teknik pelapisan jalan yang sangat inovatif, karena mudah meloloskan air masuk kedalam perkerasan secara vertikal dan horisontal melalui pori-pori udara kapiler atau dengan menggunakan saluran samping dan lapisan perkerasannya sebagai sistem drainase.

Genangan air di lokasi parkir atau jalan merupakan masalah yang sering terjadi, terutama saat musim hujan, dan dapat menyebabkan berbagai dampak negatif bagi pengguna jalan dan lingkungan sekitar. Sehingga penting untuk melakukan penggunaan aspal berpori dalam mengurangi resiko yang ada.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka perumusan masalah yang dapat dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik campuran aspal porus dengan menggunakan material dari Desa Lipukasi
2. Bagaimana material agregat Desa Lipukasi layak digunakan dalam campuran aspal porus ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang penulis dapatkan untuk tugas akhir ini yaitu:

1. Menganalisis karakteristik campuran aspal porus dengan menggunakan material dari Desa Lipukasi
2. Menganalisis kelayakan material dengan uji marshall untuk campuran aspal porus.

D. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal, Universitas Muhammadiyah Parepare.
2. Material diambil langsung dari Desa Lipukasi, Kecamatan Tanete Rilau
3. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70
4. Variasi tumbukan yang digunakan adalah 50(normal), 60, 70 tumbukan

E. Manfaat Penelitian

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

1. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat di bidang perkerasan lentur jalan raya dengan penggunaan agregat di Desa Lipukasi, Kecamatan Tanete Rilau sebagai campuran aspal porus.
2. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pengetahuan untuk pengembangan desain jalan dengan memanfaatkan agregat di Desa Lipukasi, Kecamatan Tanete Rilau
3. Dengan dilakukannya penelitian ini di harapkan agregat dari Desa Lipukasi tidak hanya digunakan pada bangunan gedung dan rumah, tetapi juga sebagai campuran aspal porus.

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan adalah sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

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

2. 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.

3. 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,

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas secara keseluruhan tentang hasil penelitian yang dilakukan.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari pokok permasalahan yang telah diteliti, serta saran yang memuat masukan-masukan dari penulis yang terkait dengan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Struktur Perkerasan Jalan

Perkerasan lentur adalah perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat campuran. Jenis perkerasan lentur yang biasa di gunakan adalah aspal beton (*asphalt concrete*), dan aspal porus. Kedua jenis perkerasan jalan tersebut di bedakan berdasarkan gradasi agregat yang digunakan.

Karakteristik perkerasan yang harus dimiliki oleh campuran aspal panas adalah sebagai berikut :

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang (deformasi permanen), serta *bleeding* (keluarnya aspal kepermukaan). Stabilitas ini terjadi dari hasil geseran antar agregat, penguncian butir partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal.

2. Kelelahan (flow)

Flow adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan maksimum sehingga sampel hancur, dinyatakan dalam satuan millimeter (mm). Pengukuran *flow* bersamaan dengan pengukuran nilai stabilitas *marshall*. Nilai flow di pengaruhi oleh kadar aspal dan viskositas aspal, gradasi, suhu, dan jumlah pemadatan.

3. Durabilitas (keawetan/ daya tahan)

Kemampuan lapisan perkerasan dalam mempertahankan diri dari kerusakan yang terjadi selama umur rencana. Kerusakan dapat terjadi karena pengaruh lalu lintas serta serta pengaruh buruk dari lingkungan dan iklim.

Faktor yang mempengaruhi durabilitas adalah sebagai berikut :

- a. *Film* (selimut) aspal, lapisan yang berdurabilitas tinggi dapat di hasilkan oleh film aspal yang tinggi, tetapi memungkinkan terjadinya *bledding* yang bertambah tinggi.
- b. *VITM* (*Void in the Total Mix*), kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh.
- c. *VMA* (*void in mineral agregat*), besar sehingga selimut aspal dapat di buat tebal. Jika *VITM* dan *VMA* kecil serta kadar aspal tinggi maka kemungkinan terjadi *bleeding* dan penurunan kinerja cukup besar.

4. Tahan Geser (*Skid Resistance*)

Tahanan geser adalah kemampuan lapis permukaan pada lapis perkerasan untuk memperkecil terjadinya selip pada kendaraan baik di waktu basah maupun kering. Hal ini terjadi karena pada saat terjadi hujan kekesatan pada lapisan permukaan akan berkurang walaupun tidak sampai terjadi aquaplaning.

Faktor krtahan geser adlah sebagai berikut :

- a. Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi bleeding.
- b. Penggunaan agregat pada permukaan kasar.
- c. Penggunaan agregat cukup.

d. Penggunaan agregat berbentuk kubus.

5. Porositas

Porositas adalah kandungan udara yang terdapat pada campuran perkerasan. Berfungsi untuk mengalirkan air permukaan secara sempurna khusus untuk aspal porus sedangkan untuk jenis perkerasan lain di haruskan kedap air.

6. Fleksibilitas

Fleksibilitas adalah kemampuan lapis perkerasan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Untuk mendapatkan fleksibilitas yang tinggi dapat di peroleh dengan cara berikut :

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh *VMA* yang besar.
- b. Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi).
- c. Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga di peroleh *VIM* yang kecil.

7. Ketahanan Kelelahan

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (*rutting*) dan retak. Faktor yang mempengaruhi ketahanan terhadap kelelahan adalah sebagai berikut :

- a. *VIM* yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.

- b. VMA dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

8. Workability (kemudahan pengerjaan)

Workability adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Workability dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu :

- a. Gradasi agregat , agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat yang bergradasi lain.
- b. Temperatur campuran yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
- c. Kandungan filler yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sulit.

B. Aspal porus

Aspal porus adalah campuran beraspal yang di desain mempunyai porositas lebih tinggi dibandingkan jenis perkerasan yang lain, sifat porus diperoleh karena campuran aspal porus menggunakan proporsi agregat halus lebih sedikit di bandingkan jenis campuran yang lain.

Aspal porus adalah campuran aspal yang sedang dikembangkan untuk konstruksi *wearing course*. Lapisan ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) yang di dominasi oleh agregat kasar , sehingga menghasilkan rongga yang cukup besar . Aspal porus memanfaatkan besarnya pori yang sengaja dibuat dengan maksud sebagai alur air ketika terjadi genangan pada permukaan jalan. Campuran aspal porus merupakan generasi baru dalam perkerasan lentur, yang membolehkan

air meresap kedalam lapisan atas secara vertical dan horizontal. Ketentuan campuran aspal porus dapat di lihat pada table berikut.

Tabel 2.1 Ketentuan Campuran Aspal Porus. Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association (2004)*

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Uji Contabro Loss (%)	Maks. 35
2	Uji Aliran Aspal Kebawah (%)	Maks. 0,3
3	Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM %)	18 – 25
4	Stabilitas Marshall (kg)	Min. 500
5	Kelelahan Marshall (mm)	2 -6
6	Kekakuan Marshall (kg/mm)	Maks. 400
7	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

C. Bahan Penyusun Aspal Porus

Bahan penyusun yang di gunakan dalam campuran aspal porus berupa aspal, agregat, dan bahan pengisi (*filler*). Berikut adalah uraian tentang bahan-bahan tersebut.

1. Aspal

Aspal adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal berasal dari alam atau dari pengolahan minyak bumi yang dimanfaatkan sebagai bahan pengikat campuran beraspal pada lapis permukaan lentur. Persyaratan AC 60/70 dilihat pada table berikut.

Tabel 2.2 Persyaratan Aspal Keras AC 60/70. Sumber : Bina Marga (2018)

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥48
3	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥232

4	Kelarutan TEC (%)	RSNI M-04-2004	≥ 99
5	Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 100
6	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	$\geq 1,0$

2. Agregat kasar

Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan saringan 0.8 (2,36 mm), menurut standart ASTM atau tertahan pada saringan no.7, menurut *Standart British*. Fungsi agregat kasar dalam campuran *Hot Rolled Sheet (HRS)* adalah untuk mengembangkan volume mortar, dengan demikian membuat campuran lebih ekonomis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan.

Tabel 2.3 Persyaratan dan Sifat-sifat Teknis Agregat Kasar.

Sumber : Bina Marga (2018)

No	Pengujian	Standar	Nilai	Satuan
1	Keausan dengan mesin Los Angeles	SNI 2417 : 2008	<30	%
2	Kelekatan dengan aspal	SNI 2439 : 2011	>95	%
3	Kekekalan bentuk agregat terhadap natrium	SNI 3407 : 2008	12	%
4	Material lolos ayakan no.200	SNI 03-4142 : 1996	<2	%
5	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791 perb 1:5	<10	%

3. Agregat halus

Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih halus dari saringan No.4 (4,75 mm). Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (interlocking) dan gesekan antar partikel.

Tabel 2.4 Ketentuan agregat halus.

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

No	Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
1	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
2	Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
3	Gumpalan lempung dan butir-butir mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
4	Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

D. Gradasi

Gradasi adalah susunan butir sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Analisis saringan dapat dilakukan secara basah dan kering (saringan basah atau saringan kering). Gradasi agregat dinyatakan dalam presentase lolos, atau presentase tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat.

Campuran aspal porus menggunakan gradasi seragam (*open graded*), sehingga campuran aspal porus disebut juga *open graded asphalt*. Gradasi seragam terdiri dari agregat kasar yang banyak dan hanya mengandung sedikit agregat halus, sehingga terdapat banyak rongga antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil. Persyaratan gradasi agregat pada campuran aspal porus seperti yang ditentukan oleh spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association 2004* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.5 Gradasi agregat Campuran Aspal Porus.
Sumber: Australian Asphalt Pavement Association (2004)

No. Saringan	Ukuran (mm)	Spesifikasi	% lolos	% Tertahan	Berat (gram)
$\frac{3}{4}$					
$\frac{1}{2}$	19,0	100	100	0	0
3/8	13,2	85-100	90	10	120
No. 4	9,5	45-70	58	32	384
No. 8	4,75	10-25	17	41	492
No. 16	2,36	7-15	11	6	72
No. 30	1,18	6-12	9	2	24
No. 50	0,6	5-10	7	2	24
No.	0,3	4-8	6	1	12
100	0,15	3-7	5	1	12
No.	0,075	2-5	3	2	24
200	0	0	0	3	36
PAN					
Berat total					1200

E. Karakteristik *Marshall*

Pengujian Marshall dimaksudkan untuk mendapatkan kinerja dari aspal porus. Pengujian Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (flow), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Adapun beberapa parameter Marshall Test antara lain : stabilitas (stability), kelelahan (flow), MQ (Marshall Quotient), VITM (Void in the Total Mix), VFWA (Void Filler With Asphaly), VMA (Void in Mineral Agregat), dan kepadatan (density).

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Naiknya stabilitas bertambah dengan kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Nilai stabilitas didapatkan dari pembacaan arloji stabilitas pada *Marshall Test*. Nilai stabilitas yang dapat dihitung dengan Persamaan berikut.

$$q = p \times s \times 0,4536 \dots\dots\dots (1)$$

keterangan :

q = stabilitas (kg),

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat,

s = koreksi tebal benda uji, dan

0,4536 = konversi satuan dari lb ke kg.

2. Kelelahan (*flow*)

Kelelahan dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch. Kelelahan menyatakan besarnya penurunan (deformasi benda uji) campuran dengan angka kelelahan

tinggi serta stabilitas rendah diatas batas maksimum akan cenderung bersifat plastis. Tetapi bila campuran dengan angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi di bawah batas optimum akan cenderung bersifat getas dan mudah retak bila ada pembebanan.

3. *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient adalah hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan (flow) dan digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran. Nilai MQ dapat dihitung dengan Persamaan berikut.

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

keterangan :

MQ = nilai Marshall Quotient,

q = nilai stabilitas (kg), dan

r = nilai flow (mm).

4. *Void in the mix (VIM)*

VIM adalah persentase rongga udara dalam campuran yang telah dipadatkan. Nilai VIM semakin tinggi menunjukkan semakin besarnya rongga udara dalam campuran sehingga campuran bersifat porus. Nilai VITM dapat dihitung dengan Persamaan berikut.

$$n = 100 - (100 - \frac{g}{h}) \dots\dots\dots (3)$$

$$h = 100 - \left[\frac{100}{\left(\frac{\% Agregat}{BJ Agregat} + \frac{\% Aspal}{BJ Aspal} \right)} \right] \dots\dots\dots (4)$$

keterangan :

n = nilai VITM,

g = berat isi sampel (gr/cc), dan

h = berat jenis maksimum teoritis campuran.

5. *Void in mineral aggregate (VMA)*

VMA adalah rongga udara yang ada di antara butir-butir agregat dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal dan dinyatakan dalam prosen terhadap volume campuran agregat aspal. VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka. Nilai VMA dapat diperoleh dari Persamaan berikut.

$$l = 100 - j \dots\dots\dots (5)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \dots\dots\dots (6)$$

keterangan :

l = nilai VMA (%),

b = presentase aspal terhadap campuran (%), dan

g = berat isi sampel (gr/cc).

6. *Kepadatan (Density)*

Banyaknya aspal yang menyelimuti permukaan setiap butir agregat dinyatakan dengan kadar aspal efektif. Semakin tinggi kadar aspal efektif maka semakin tebal selimut aspal pada masing-masing butir agregat. Tebal selimut aspal ini sangat ditentukan oleh luas permukaan seluruh butir-butir agregat pembentuk aspal.

Density menunjukkan besarnya kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai density, maka kerapatannya semakin baik.

Density dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: gradasi bahan, jumlah pemadatan, temperatur pemadatan, dan kadar aspal. Nilai kepadatan / *density* dapat diperoleh dari Persamaan berikut.

$$g = \frac{c}{f} \dots\dots\dots(7)$$

$$f = d - e \dots\dots\dots(8)$$

keterangan :

g = nilai density (gr/cc),

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

d = berat benda uji dalam keadaan jenuh / ssd (gr),

e = berat dalam air (gr), dan

f = volume / isi (cm^3)

7. Permeabilitas

Permeabilitas merupakan tingkat derajat kerapatan konstruksi pada aspal untuk dapat ditembus oleh zat cair. Permeabilitas sangat penting untuk konstruksi campuran aspal dapat bertahan. Semakin kecil permeabilitas aspal, maka akan semakin sedikit air yang dapat masuk ke dalam konstruksi aspal, sehingga aspal memiliki keawetan lebih panjang. Pengujian permeabilitas ini merujuk pada hukum permeabilitas dengan Persamaan berikut.

$$K = \frac{V.Ly\ air}{P.A.T} \dots\dots\dots(9)$$

keterangan:

K = koefisien permeabilitas air (cm/dtk),

V = volume rembesan (cm^3)

γ_{air} = berat jenis air (dyne/ cm^3)

L = tinggi sampel (cm),

A = luas penampang sampel (cm^2)

T = lama waktu rembesan (dtk)

8. Pengujian *Immersion Test*

Immersion Test bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Pengujian ini dilakukan dengan cara benda uji direndam dalam *waterbath* pada suhu $60^\circ C$ selama 30 menit (stabilitas standar) dan direndam pada suhu $60^\circ C$ selama 24 jam (stabilitas rendaman). Dari nilai stabilitas yang di dapat dari kedua pengujian perendaman, kemudian dihitung nilai *Index or Retained Strength (IRS)* menggunakan Persamaan berikut.

$$\text{Index of Retained Strength} = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \dots\dots\dots (10)$$

keterangan :

S_1 = rata – rata nilai stabilitas Marshall setelah perendaman selama 30 menit (kg), dan

S_2 = rata – rata nilai stabilitas Marshall setelah perendaman selama 24 jam (kg).

F. Penelitian Terdahulu

1. Nadya Tesalonika Sembung, Dkk. 2020. “Analisa campuran aspal porus menggunakan material dari kakasen kecamatan tomohon utara kota tomohon”. Rancangan campuran berdasarkan komposisi agregat sesuai dengan persyaratan gradasi (Asphalt Concrete-Wearing Course) atau disingkat AC-WC dan dicari kadar aspal perkiraan dibuat benda uji marshall. Kadar aspal ditetapkan dulu menggunakan aspal penetrasi 60/70 sebagai bahan pengikat dan dibuat benda uji marshall dengan 5 variasi kadar aspal serta dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai permeabilitas dimana air di dalam tabung jatuh bebas kedalam mould yang berisi benda uji pada ketinggian tertentu sampai melewati rongga pada campuran. Berdasarkan hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa campuran aspal porus dengan menggunakan material bersumber dari Kakaskasen dengan menggunakan bahan pengikat aspal penetrasi 60/70 memiliki nilai stabilitas yang rendah dan memiliki nilai permeabilitas yang tinggi tapi campuran tersebut masih layak digunakan pada kondisi jalan yang lalulintas rendah. Dengan demikian disarankan untuk campuran aspal porus melakukan penelitian yang lebih lagi dengan menggunakan sumber material yang berbeda serta bahan pengikatnya dan perlu diadakan penelitian lanjutan tentang kinerja marshall seiring dengan pengaruhnya kekuatan pada campuran perkerasan.
2. Amiruddin, Dkk. 2018. “Pemanfaatan material lokal dalam pembuatan aspal porus tipe ac-wc yang aman dan ramah lingkungan”. Penelitian ini dilakukan dengan dua tahap yaitu penelitian skala laboratorium yang nantinya ditahap

berikutnya akan dilanjutkan penelitian ke tahap percobaan dilapangan langsung setelah hasil penelitian ditahap ini selesai dengan membuat model sesungguhnya dalam ukuran kecil. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan penelitian dengan pengujian dilaboratorium dan pengujian lapangandengan menggunakan variable komposisi dengan campuran dengan prosentase agregat halus yang berbeda sampai didapatkan kondisi optimum yaitu, 0%, 15%, 30%, 45% dan 60% dengan pengujian menggunakan metode Marshall. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai sifat-sifat fisik agregat dan pengujian karakteristik aspal yang sesuai dengan spesifikasi SNI (Standar Internasional Indonesia) dari hasil-hasil pengujian dilakukan akan dapat diketahui rancangan komposisi campuran sebuah benda uji. Berdasarkan hasil pengujian terhadap aspal yang digunakan diketahui bahwa aspal memenuhi standart spesifikasi yang ditentukan. Pengujian Marshall terhadap benda uji standar dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelahan (flow), dan karakteristk campuran lainnya sehingga mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk pembuatan benda uji. Pada pengujian ini jumlah benda uji yang digunakan sebanyak 60 buah dengan masing – masing variasi kadar aspal sebanyak 3 buah dan berat masing – masing benda uji tersebut ± 1200 gram dengan komposisi agregat

3. Pria Rizky Candra, Dkk. 2021. “Karakteristik Marshall Campuran Aspal Porus dengan Penambahan Polyurethane”. Metode analisis yang digunakan adalah parameter Marshal. Hasil penelitian yang didapat adalah polyurethane meningkatkan performa aspal porous, yaitu penambahan polyurethane dalam

aspal porous meningkatkan stabilitas, flow, dan MQ, dan menurunkan VIM.

Berdasarkan nilai stabilitas maka kadar aspal polyurethane terbaik adalah 2%.

4. Leni Arlia, Dkk. 2018. "karakteristik campuran aspal porus dengan substitusi gondorukem pada aspal penetrasi 60/70". digunakan metode Australian Asphalt pavement Association (AAPA) dengan parameter nilai cantabro loss (CL), asphalt flow down (AFD), dan voids in mix (VIM). Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi terbuka dengan kadar aspal 4,5 %; 5%; 5,5%; 6%; dan 6,5% tanpa variasi penggunaan gondorukem. Selanjutnya dilakukan pengujian dan perhitungan Marshall, CL, dan AFD untuk mendapatkan KAO. Setelah KAO diperoleh, dibuat benda uji pada KAO dan variasi $\pm 0,5$ dari nilai KAO dengan variasi substitusi gondorukem sebesar 2%, 4%, 6%, dan 8%. hasil penelitian KAO terbaik pada 5,56% dengan substitusi 8% gondorukem, dimana semua parameternya telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan AAPA (2004). Penambahan gondorukem berpengaruh terhadap nilai karakteristik Marshall, CL, dan AFD, dimana meningkatkan nilai stabilitas, VIM, CL, dan AFD seiring dengan peningkatan persentas gondorukem. Pada KAO terbaik diperoleh nilai stabilitas sebesar 554,81 kg.
5. Oktavianus Klau Bria, Dkk. 2018. "kinerja campuran aspal porus berbagai gradasi pada aspal penetrasi 60/70". Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengetahui kinerja aspal porus dengan mengabi parameter dari stabilitas, flow, Marshal Question, Porositas dan Permeablitas dengan membandingkan tiga gradasi yang berbeda. Antara lain gradasi Austalia, gradasi Jepang dan gradasi New Zealand menggunakan aspal Penetrasi 60/70

Ex. ESSO dan material lokal agregat kasar dan halus pada Quarry baingkete kabupaten Sorong, Papua Barat. Hasil uji kinerja memenuhi parameter spesifikasi AAPA 2002 diperlihatkan oleh gradasi Jepang dengan Stabilitas 750 kg, Marshall Question 200 kg/mm, Porositas 15% dan Permeabilitas 0,19 cm/dt. Sedangkan gradasi Australia dan New Zealand dibawah spesifikasi Marshall Question yaitu 140 dan 175 dapat dikatakan gradasi tersebut agak kaku dalam menerima beban, yang disyaratkan harus >200 kg/mm.

6. Erik Dwi Setiawan, Dkk. 2022. “penentuan karakteristik aspal porus menggunakan agregat kasar batu pecah parengan tuban dengan metode uji marshall”. Analisis kinerja fungsi kekuatan campuran aspal porus dilakukan dengan Marshall test dengan melihat hasil pengujian parameter seperti Stabilitas, VMA, VFB, VIM, kelelahan (flow) dan MQ (Marshall quotient). Untuk analisis resapan campuran aspal porus dilakukan dengan metode Falling Head Permeability (FHP), dimana air di dalam tabung jatuh bebas dengan ketinggian tertentu sampai melewati rongga pada campuran aspal berpori menggunakan rentang kadar aspal varisai rencana antara lain 4%, 5%, 6% dan 7%. Hasil penelitian didapatkan Stabilitas aspal porus dari empat variasi kadar aspal rata-rata yaitu 248,3 Kg. Untuk nilai rata-rata VIM pada empat variasi kadar aspal yaitu 10,78%. Nilai rata-rata flow pada empat variasi kadar aspal 1,31 mm. Untuk nilai rata-rata VMA pada empat variasi kadar aspal yaitu 19,33%. Nilai rata-rata VFB pada empat variasi kadar aspal yaitu 44,3 gr/cc. Dan nilai Marshall Quetient 237,43 Kg/mm. Hasil penelitian permeabilitas aspal porus pada empat variasi kadar aspal yaitu 0,366 cm/s.Immersion

campuran AC–BC asal Tawau rendaman 0,5 jam nilai stabilitas 1967 kg, flow =3,75, MQ = 524,78 dan rendaman 24 jam stabilitas =1503, flow = 3,75, MQ = 395,41. Hasil pengujian ITS campuran AC–BC Nunukan unconditioned = 719,70 kpa dan conditioned = 658,28 kpa, kemudian nilai RKT = 91,47. Sedangkan campuran AC–BC Asal Tawau Nunukan unconditioned = 660,96 kpa dan conditioned = 639,58 kpa kemudian nilai RKT = 96,77. Jika megacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 revisi 3 (2014) maka Agregat Kasar Kabupaten Nunukan dapat digunakan dalam perancangan campuran Asphalt Concerete Binder Course (ACBC).

7. Izzanur Rusyda Dwipratama Supriyadi, Dkk. 2018. “kajian eksperimental campuran aspal porus dengan bahan tambahan plastik hdpe (high density poly ethylene)”. Metode penelitian ini yaitu pemeriksaan bahan yang akan digunakan, pembuatan benda uji dengan kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%. Kemudian diuji Marshall untuk medapatkan nilai Kadar aspal optimum (KAO). Selanjutnya dilakukan pembuatan Benda uji dengan KAO dan penambahan plastic HDPE dengan kadar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% serta diuji Marshall, Cantabro Loss, Permeabilitas, dan Binder Drain Down. Hasil dari penelitian ini yaitu Karakteristik bahan penyusun. Campuran aspal porus yang meliputi agregat, filler, dan aspal telah Memenuhi standar RSNI 2 Tahun 2012. Nilai rata-rata cantabro loss sebesar 17,94% adalah nilai terbaik yang didapatkan pada kadar plastic HDPE 15%. Sedangkan nilai permeabilitas mengalami penurunan hingga kadar plastik HDPE 20% dengan nilai rata-rata tertinggi sebesar 0,123 cm/det. Nilai binder drain down mengalami penurunan

seiring bertambahnya kadar plastik, nilai rata-rata terendah terdapat pada kadar plastik HDPE 20% yaitu 0,0302%.

8. Anita rahmawati, Dkk. 2021. “Kinerja Campuran Aspal Porus yang Dimodifikasi dengan Lateks”. Penelitian ini mengkaji pengaruh lateks sebagai bahan pengganti sebagian aspal pada perkerasan aspal porus dengan variasi kadar lateks 0%, 1%, 3%, 5% dan 7%. Spesifikasi yang digunakan adalah spesifikasi AAPA (1997). Nilai KAO didapat sebesar 5,75%, pada pengujian aspal dengan campuran lateks didapat nilai penetrasi tertinggi adalah 63,9, kehilangan berat minyak 0,2576, nilai daktilitas, titik lembek mengalami kenaikan seiring penambahan kadar lateks. Pada pengujian aspal porus dengan variasi kadar lateks didapat nilai density dan VFA mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar lateks, nilai VMA, flow dan VIM cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar lateks, nilai stabilitas marshall tertinggi 592,04 kg, nilai Marshall Quotient 132,76 kg/mm, nilai Asphalt Flow Down 0,21% dan nilai Cantabro Loss adalah 14,61%.
9. Fazri Hidayat, Dkk. 2019. “analisis variasi tingkat porositas terhadap nilai durabilitas pada campuran aspal porus”. Penelitian ini menggunakan tiga variasi porositas pada benda uji antara lain benda uji porositas 15%, benda uji porositas 25% dan benda uji porositas 30%. pada benda uji rendaman air suhu 45°C didapatkan hasil yang mengalami penurunan yang sangat signifikan pada semua benda uji, penurunan kekuatan terbanyak yaitu hampir mencapai 50% pada porositas 30% dalam durasi rendaman 1 hari. Hasil yang didapat bahwa semakin lama durasi perendaman maka terjadi penurunan yang semakin besar.

10. Sofyan M. Saleh, Dkk. 2019. “Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70”. Pembuatan benda uji untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan metode Australia dengan beberapa parameter yaitu; nilai Cantabro Loss (CL), Asphalt Flow Down (AFD) dan voids in mix (VIM). Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi terbuka dengan kadar aspal 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0% dan 6,5% sebelum disubstitusi styrofoam. Selanjutnya dilakukan pengujian dan perhitungan parameter Marshall, CL dan AFD untuk mendapatkan KAO. Setelah KAO diperoleh, dibuat benda uji pada KAO dan variasi $\pm 0,5$ dari nilai KAO dengan variasi substitusi styrofoam 5%, 7% dan 9%. Uji permeabilitas dan durabilitas pada kadar aspal terbaik. hasil penelitian diperoleh KAO sebesar 5,76% dan kadar aspal terbaik pada 6,26% dengan substitusi styrofoam 9%, dimana semua parameter nya telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan kecuali nilai stabilitas yang hanya 495,92 kg atau sedikit dibawah spesifikasi yang disyaratkan Australian Asphalt Pavement Association (1997) untuk lalu lintas sedang yaitu minimum 500 kg.

BAB III

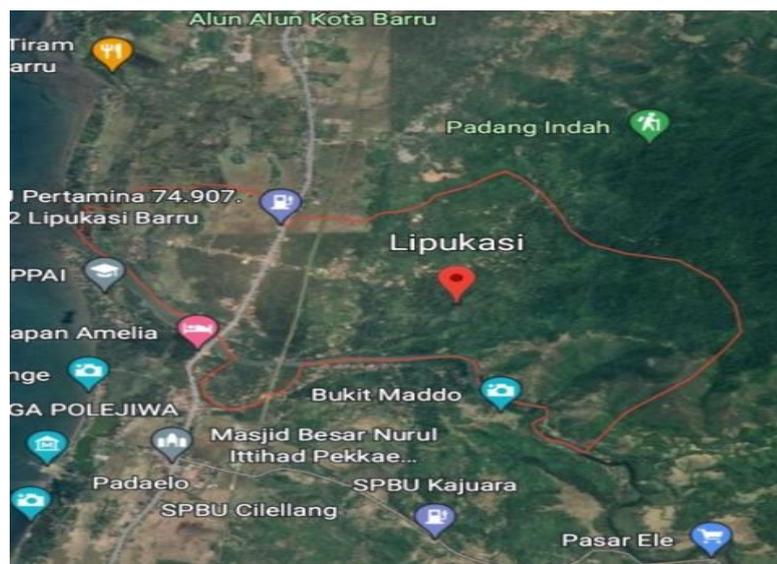
METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Metode penelitian adalah cara untuk memperoleh hasil dari penelitian secara keseluruhan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif yaitu, metode yang dilakukan dengan melakukan percobaan untuk mendapatkan data dan selanjutnya diolah untuk mendapatkan hasil perbandingan dengan syarat-syarat yang ada.

B. Lokasi dan Waktu

Lokasi pengambilan material dalam pengujian ini adalah di Desa Lipukasi, Kabupaten Barru. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare selama 2 (dua) bulan yaitu pada bulan Februari sampai bulan Maret 2024.



Gambar 3.1. lokasi Material Pengujian.
Sumber : Google Earth

C. Bahan dan Alat

1. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Desa Lipukasi Kabupaten Barru.
- b. Agregat halus yang digunakan berasal dari Desa Lipukasi Kabupaten Barru
- c. *Filler* atau material lolos saringan No. 200 yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batu.
- d. 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 shaker*).

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) Pengangkat 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 kelelahan.

D. Prosedur Penelitian

Tahap pemeriksaan bahan material agregat dan aspal. Berikut 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 Surface 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) 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° 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 $\frac{1}{2}$ " diambil sebanyak 2500 gr dan tertahan saringan $\frac{3}{8}$ " sebanyak 2500 gr jadi total agregat 5000 gr.
- 2) Benda uji dioven selama ± 24 jam dengan suhu 110°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°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°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 mendinginkannya 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) Mendinginkan 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 $\pm 5^{\circ}\text{C}$
- 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.

e. Pengujian marshall

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

- 1) Membuka contoh benda uji dari *mold*.
- 2) Membersihkan kertas kertas filter.
- 3) Mengukur ketebalan masing masing benda uji dengan 3 sisi.
- 4) Benda uji ditimbang kering dan benda uji ditimbang dalam air.
- 5) Benda uji direndam 10-15 menit lalu ditimbang SSD.
- 6) 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.
- 7) Benda uji dimasukkan kedalam *mold* untuk diuji marshalnya.
- 8) Menyalakan alat uji marshall sampai benda uji rapat pada *proving ring* kemudian mematikan alat lalu nolkan pembacaan.
- 9) Menyalakan alat kembali sampai jarum pembacaan tidak bergerak lagi atau turun lalu mematikan alat dan catat pembacaan stabilitas dan *flow*.
- 10) Menormalkan kembali alat lalu keluarkan benda uji.
- 11) Melakukan analisis berat jenis dan karakterisitik campuran.
- 12) Membuat grafik hubungan kadar aspal dengan karakteristik campuran yang telah dianalisis.
- 13) Memasukkan data spesifikasi kedalam grafik.
- 14) Menentukan kadar aspal optimum pada campuran.
- 15) 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:

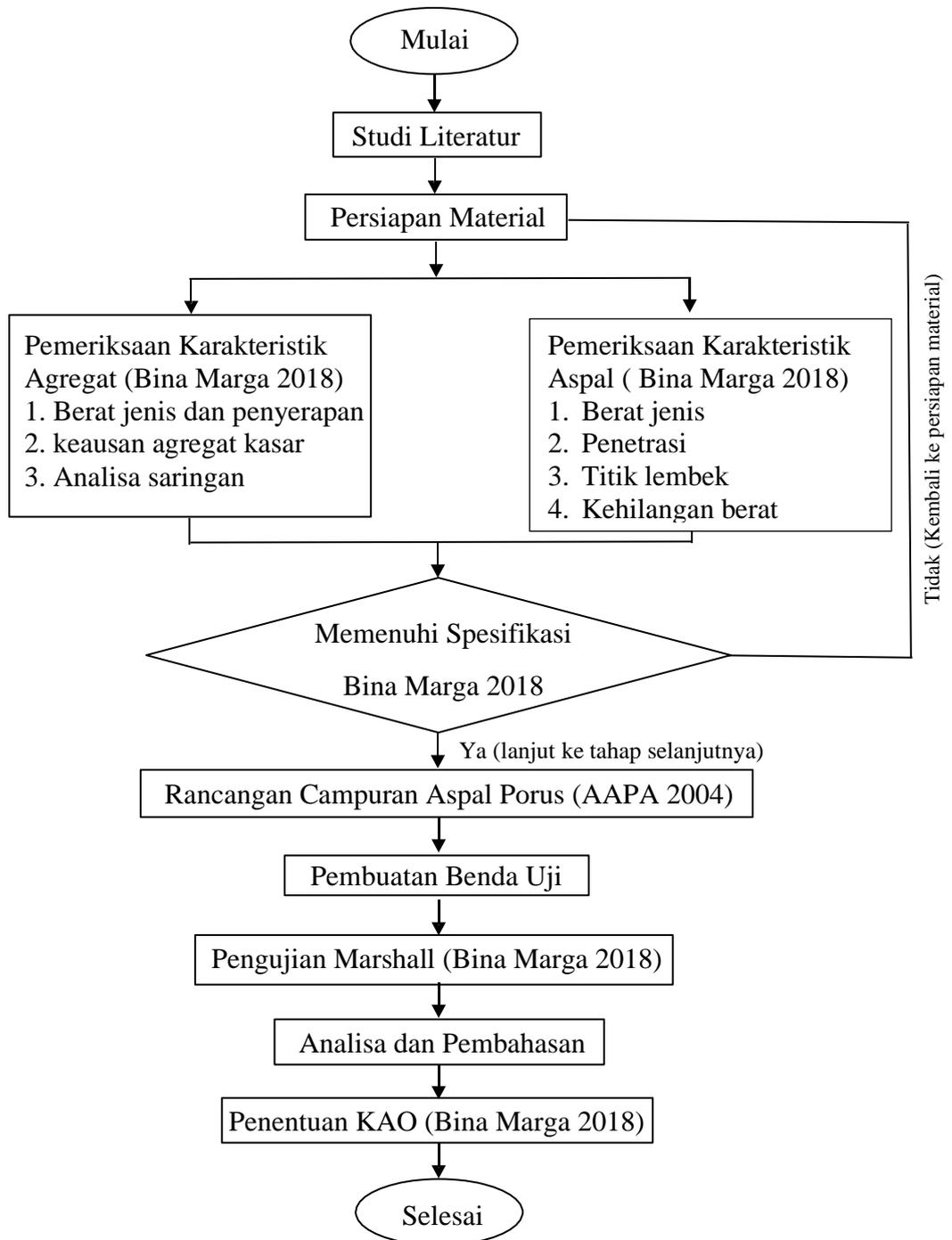
- a. Berat jenis dan penyerapan agregat.
- b. Analisis saringan agregat.
- c. Pengujian keausan agregat kasar (abrasi).
- d. Pemeriksaan penetrasi.
- e. Pemeriksaan titik lembek
- f. Pemeriksaan berat jenis aspal
- g. Pemeriksaan kehilangan berat aspal
- h. Uji Marshall

F. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pada penelitian adalah metode *marshall*. Konsep *Marshall Test*. Pengujian *Marsahall* dirancang untuk mengetahui karakteristik dan kadar aspal yang optimal dari campuran aspal. Pengujian ini bertujuan untuk

menentukan stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*), serta analisa kepadatan dan pori campuran padat yang terbentuk.

G. Diagram Alir



Gambar 3.2. Diagram Alir
(Sumber. Data Pribadi)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Agregat

Pengujian sifat-sifat fisik agregat terdiri dari pengujian pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, dan pengujian keausan agregat kasar (abrasi), dan analisa saringan agregat.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat, hasil prosedur pemeriksaan merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Dari hasil pemeriksaan diperoleh data pada Tabel 4.1.

a. Berat jenis agregat kasar 1-2

Tabel 4.1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar 1-2
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,64	Min 2,5	Gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,69			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,80			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	2,15	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari hasil berat jenis agregat kasar 1-2 diatas, didapat nilai berat jenis bulk 2,64 gr, berat jenis kering permukaan 2,69 gr, berat jenis semu 2,80 gr, dan penyerapan 2,15%. Berdasarkan persyaratan spesifikasi berat jenis yaitu

minimum 2,5 dan penyerapan air maksimal 3% maka agregat dalam pengujian ini telah memenuhi.

b. Berat jenis agregat halus

Tabel 4.2 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	3,16	Min 2,5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	3,21			Memenuhi
3	Berat jenis semu	3,34			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	1,48	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari pengujian berat jenis agregat halus (abu batu) diatas didapat nilai berat jenis bulk 3,16 gr, berat jenis kering permukaan 3,21 gr, berat jenis semu 3,34 gr, dan penyerapan 1,48%. Berdasarkan persyaratan spesifikasi berat jenis yaitu minimum 2,5 dan penyerapan air maksimal 3% maka agregat dalam pengujian ini telah memenuhi.

2. Pemeriksaan keausan agregat kasar (abrasi)

Dalam pemeriksaan keausan agregat kasar (abrasi) hasil prosedur pemeriksaan merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Tabel 4.3 Hasil pengujian agregat kasar (abrasi) 500 putaran.
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Saringan		Berat		Spesifikasi
Lolos	Tertahan	Sebelum (gr)	Sesudah (gr)	
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	2500	3978	
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	2500	3978	
Jumlah berat (gram)		5000	3978	

Saringan	Berat		Spesifikasi
Berat tertahan saringan No. 12 (gram)	5000	3978	
Persen keausan	20,44%		Maks. 30%

Pemeriksaan keausan (abrasi) agregat kasar menggunakan mesin Los Angles kemudian diputar 500 putaran bersama dengan bola-bola baja sebanyak 11 bola. Maka diperoleh nilai keausan sebesar 20,44 %. Sesuai dengan spesifikasi yang digunakan maksimal 30%.

3. Pemeriksaan analisa saringan agregat

Pengujian analisa saringan agregat terdiri dari pengujian analisa saringan agregat kasar dan agregat halus. Dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat, hasil prosedur pemeriksaan merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

a. Analisa saringan agregat kasar 1-2

Tabel 4.4 Hasil analisa saringan agregat kasar 1-2.
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

No. Saringan	Sampel 1			Sampel 2			Rata-rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	140,4	9,96	90,04	140	9,33	90,67	90,35
1/2"	1058,3	70,55	19,49	1050,1	70,01	20,66	20,07
3/8"	133,2	8,88	10,61	177,3	11,82	8,84	9,72
4	82,1	5,47	5,13	63,4	4,23	4,61	4,87
8	48,8	3,25	1,88	39,2	2,61	2	1,94
16	0,4	0,03	1,85	0,6	0,04	1,96	1,91
30	3,8	0,25	1,60	3,4	0,23	1,73	1,67
50	1,5	0,10	1,50	1,4	0,09	1,64	1,57
100	3,8	0,25	1,25	3,8	0,25	1,39	1,32
200	1,7	0,11	1,13	2,3	0,15	1,23	1,18
Pan	17	1,13	0	18,5	1,23	0	0
Jumlah	1500	100		1500	100		

b. Analisa saringan agregat halus

Tabel 4.5 Hasil analisa saringan agregat halus.
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

No. Saringan	Sampel 1			Sampel 2			Rata - rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	0	0	0	100	0	0	0
1/2"	0	0	0	100	0	0	0
3/8"	0	0	0	100	0	0	0
4	0	0	0	100	0	0	0
8	68,90	4,59	4,59	95,41	60,60	4,04	4,04
16	368,50	24,57	29,16	70,84	351,90	23,46	27,50
30	331,50	22,10	51,26	48,74	331,50	22,10	49,60
50	261,60	17,44	68,70	31,30	248,70	16,58	66,18
100	364,30	24,29	92,99	7,01	327,70	21,85	88,03
200	99,40	6,63	99,61	0,39	158,30	10,55	98,58
Pan	5,80	0,39	100	0,00	21,30	1,42	100
Jumlah	1500	100			1500	100	

B. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Aspal

Pengujian sifat-sifat aspal terdiri dari pengujian berat jenis aspal, pengujian titik lembek aspal, pengujian kehilangan berat aspal, dan pengujian penetrasi. Pada pemeriksaan aspal merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Dari hasil pemeriksaan aspal diperoleh data pada tabel berikut:

Tabel 4.6 Hasil pengujian aspal.
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Satuan	Keterangan
1	Berat jenis aspal	1,00	$\geq 1,0$	gr/cc	Memenuhi
2	Titik lembek aspal	49	≥ 48	$^{\circ}\text{C}$	Memenuhi
3	Kehilangan berat aspal	0,52	$\leq 0,8$	0,1 mm	Memenuhi
4	Penetrasi pada 25 $^{\circ}\text{C}$	64,60	60-70	%	Memenuhi

Dari hasil pengujian aspal diatas diperoleh nilai berat jenis aspal 1,00 gr/cc, titik lembek aspal 49°C, kehilangan berat aspal 0,52 mm, dan penetrasi pada 25°C sebesar 64,60 mm. Berdasarkan persyaratan spesifikasi pemeriksaan aspal maka aspal dalam pengujian ini memenuhi.

C. Hasil Rancangan Campuran

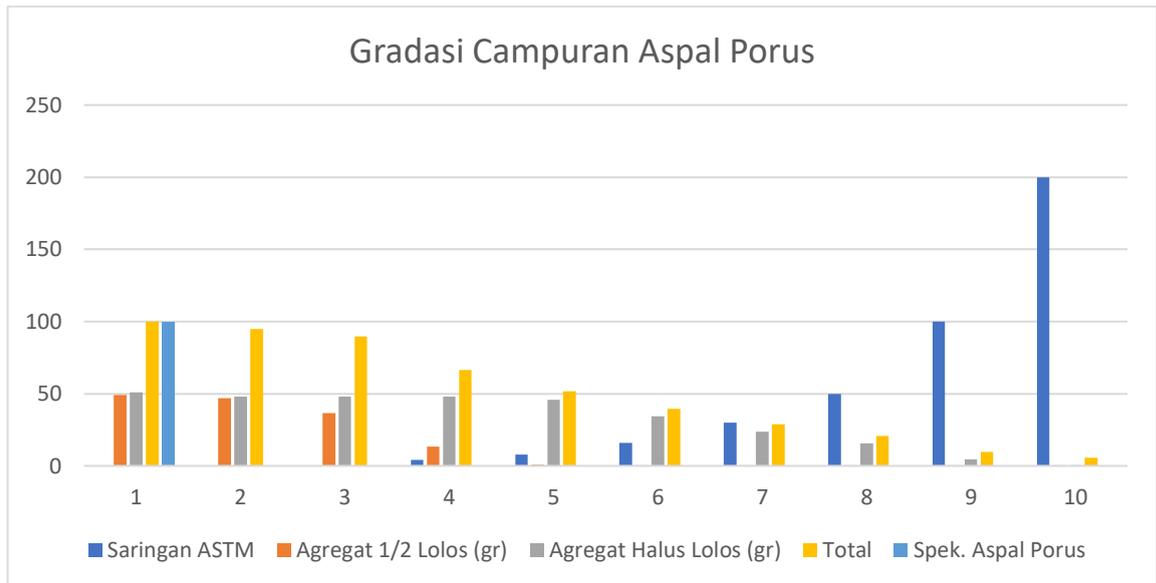
1. Gradasi agregat gabungan

Gradasi agregat gabungan menggunakan metode coba-coba (*trial and error*) yaitu nilai yang diperoleh dari analisa saringan agregat dengan memasukkan data spesifikasinya dari masing-masing analisa saringan. kemudian menentukan variasi persentase setiap agregat. Kemudian hasil penggabungan agregat diperoleh melalui perkalian persentase dengan persen lolos dari agregat sampai memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan pada aspal porus. Dari hasil pemeriksaan gradasi agregat gabungan aspal porus diperoleh data pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil gradasi agregat gabungan campuran aspal porus
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Saringan		Agregat 1/2		Agregat Halus		Total	Spek. Aspal Porus
ASTM	(mm)	Lolos (gr)	85%	Lolos (gr)	15%		
3/4"	19	49,00	547,5	51,00	15	100	100
1/2"	12,5	47,00	627,8	48,00	15	95,00	90-100
3/8"	9,5	36,73	295,65	48,00	21,05	89,73	77-90
4	4,75	13,29	76,65	48,00	29,25	66,29	53-69
8	2,36	0,67	51,1	45,93	72	51,60	33-53
16	1,18	0,19	14,6	34,40	78,75	39,59	21-40
30	0,6	0,17	7,3	23,79	36	28,97	14-30

50	0,3	0,16	3,65	15,63	75	20,79	9'-22
100	0,15	0,12	3,65	4,56	37,5	9,67	6'-15
200	0,075	0,04	3,65	0,43	27	5,48	4-9



Gambar 4.1 Grafik gradasi campuran aspal porus
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Pengolahan data gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal porus ditunjukkan dalam persen pada berat agregat, serta harus memenuhi spesifikasi yang berada antara batas atas dan batas bawah. Dari hasil gradasi agregat gabungan campuran aspal porus diatas telah memenuhi batas-batas Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

2. Hasil berat agregat yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji

Dari hasil analisa gradasi agregat gabungan pada campuran aspal porus diatas, maka dibuat berat agregat untuk pembuatan benda uji campuran aspal dan benda uji yang menggunakan agregat dari desa lipukasi. Maka, diperoleh perhitungn berat agregat yang dibutuhkan seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil berat agregat untuk benda uji campuran aspal normal pada lapisan aspal porus. (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Jenis Lapisan	Kadar Aspal (%)	Agregat 1-2 (gr)	Abu Batu (gr)
Aspal			
Porus	5%	296,4	456

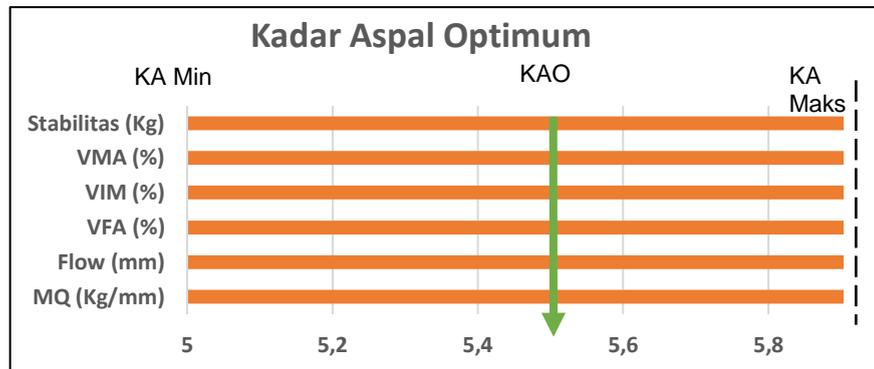
D. Hasil Kadar Aspal Optimum Pada Campuran Normal

Kadar aspal optimum merupakan jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agregat agar tercapai spesifikasi persyaratan Stabilitas, VMA, VIM, VFA, *Flow*, dan *Marshall Quotient*. Penentuan kadar aspal optimum untuk menentukan besar kadar aspal yang efektif pada campuran yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji baru dengan komposisi agregat sama tapi dengan kadar aspal optimum yang telah ditentukan.

Dari hasil pengolahan data *Marsahall* diperoleh nilai parameter *Marshall* kemudian menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) berikut rekapitulasi hasil perhitungan pada campuran aspal porus dengan kadar aspal 5% dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil uji Marshall campuran normal aspal porus. (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Karakteristik	Spesifikasi Umum	Kadar Aspal (%)
		5%
Stabilitas (kg)	Min. 800	1262,45
VMA (%)	Min. 15	15,04
VIM (%)	3-5	4,94
VFA (%)	Min. 65	67,30
Flow (mm)	2-4	3,31
MQ (kg/mm)	Min 250	387,22



Gambar 4.2 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) pada aspal porus
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Berdasarkan gambar 4.1 dan gambar 4.2 diatas menunjukkan nilai stabilitas, VMA, VIM, VFA, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ) memenuhi spesifikasi untuk aspal porus dengan kadar aspal 5% Maka untuk setiap jenis aspal, nilai kadar aspal optimum yang diperoleh 5,5%.

E. Hasil Pengujian *Marshall*

Dari hasil pengujian dan pengolahan data, diperoleh parameter *Marshall* pada lapisan aspal *Porus* menggunakan agregat dari Desa Lipukasi Kabupaten Barru sebagai pengganti agregat.

Tabel. 4.10 Hasil pengujian *Marshall* aspal Porus.
(Sumber: Hasil Pengolahan Data Tahun 2024)

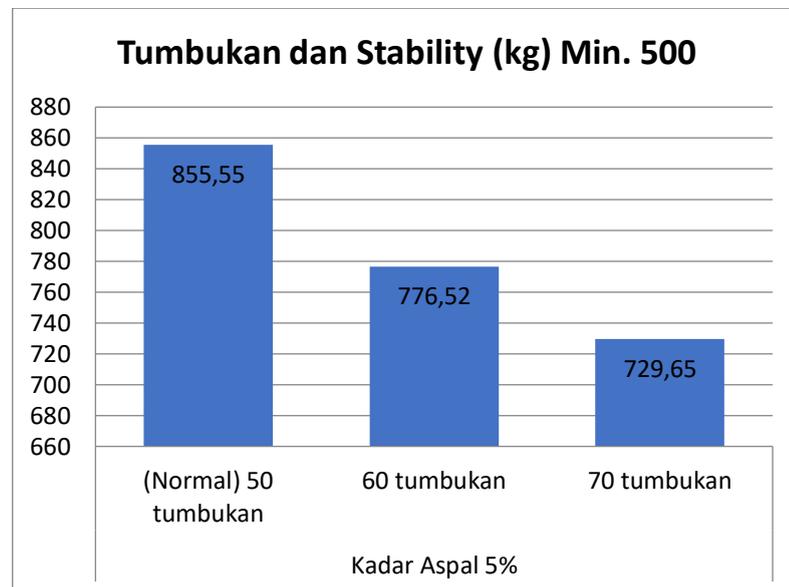
Karakteristik	Spesifikasi Umum	Kadar Aspal 5%		
		(Normal) 50 tumbukan	60 tumbukan	70 tumbukan
<i>Stability</i> (kg)	Min. 500	855,55	776,52	729,65
VMA (%)	Min. 15	24,12	22,37	19,15
VIM (%)	18-25	23,80	23,15	22,95
VFA (%)	Min. 65	71,5	69,85	68,2
<i>Flow</i> (mm)	2-6	3,79	3,10	2,93

<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Maks. 400	360,99	287,60	261,52
----------------------------------	-----------	--------	--------	--------

Dari hasil nilai pengujian karakteristik *Marshall* pada aspal porus untuk nilai stabilitas (*stability*), rongga dalam campuran (VIM, Air Voids/Voids in Mix), rongga terhadap agregat (VMA, Void In Mineral Agreggate), rongga terisi aspal (VFA, Void Filleds with Asphalt), kelelahan (*flow*), dan hasil bagi *Marshall* (MQ, Marshall Quotient) untuk campuran aspal porus dapat dilihat pada grafik sebagai berikut.

a. Stabilitas (*Stability*)

Nilai Stabilitas yang diperoleh pada aspal porus dengan menggunakan agregat Desa Lipukasi. Berikut grafik nilai stabilitas pada Gambar 4.3.

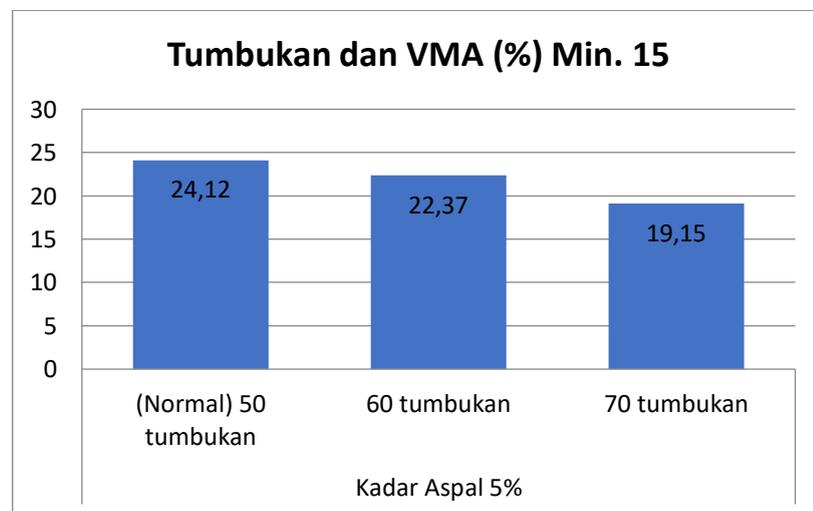


Gambar 4.3. Grafik hubungan antara tumbukan dengan Stabilitas (kg).
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Nilai stabilitas pada aspal porus dengan tumbukan 50 sebesar 855,55 kg, tumbukan 60 sebesar 776,52 kg dan pada tumbukan 70 sebesar 729,65 kg, maka nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi minimal 500 kg.

b. Rongga antara mineral agregat (Void In Mineral Agreggate, VMA)

Nilai VMA (Void In Mineral Agreggate) yang diperoleh pada aspal porus dengan menggunakan agregat Desa Lipukasi Kabupaten Barru Sulawesi Selatan sebagai bahan pengganti agregat dengan kadar aspal 5%, dimana pada setiap penambahan tumbukan mengalami penurunan. Berikut grafik nilai stabilitas pada Gambar 4.4 yang mengalami penurunan disetiap penambahan tumbukannya.



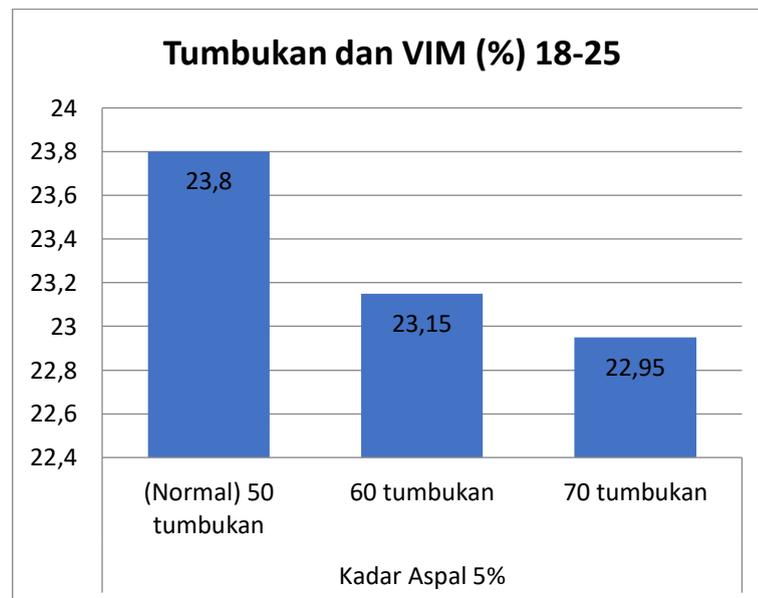
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara tumbukan dengan VMA (%) pada Agregat. (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Pada gambar 4.4 di gambarkan nilai VMA telah memenuhi spesifikasi minimal 15%. Nilai VMA dengan tumbukan 50 sebesar 24,12%, tumbukan 60 sebesar 22,37% dan tumbukan 70 sebesar 19,15%, maka memenuhi

spesifikasi minimal 15%. Dengan bertambahnya jumlah tumbukan nilai VMA akan semakin rendah.

c. Rongga udara dalam campuran (Air Voids/Voids in Mix , VIM)

Nilai VIM (Air Voids/Voids in Mix) atau rongga udara dalam campuran yang diperoleh pada aspal dengan menggunakan agregat Desa Lipukasi Kabupaten Barru Sulawesi Selatan sebagai bahan pengganti agregat. Berikut grafik nilai pada Gambar 4.5.

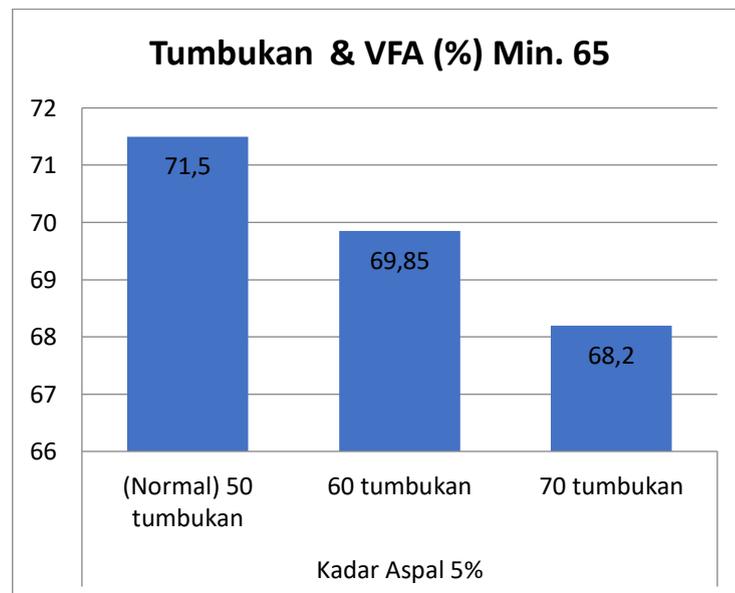


Gambar 4.5. Grafik hubungan antara tumbukan dengan VIM (%)
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Nilai VIM pada aspal porus dengan kadar aspal 5%, tumbukan 50 sebesar 23,8%, tumbukan 60 sebesar 23,15% dan tumbukan 70 sebesar 22,95%, maka nilai yang di dapat telah memenuhi spesifikasi antara 18% - 25%.

d. Rongga terisi aspal (Void Filled with Asphalt, VFA)

Nilai VFA (Void Filled with Asphalt) merupakan persentase rongga yang terisi aspal pada campuran setelah dipadatkan. Nilai VFA dipengaruhi jumlah tumbukan dan suhu saat campuran aspal dipadatkan, gradasi agregat dan banyaknya kadar aspal. Nilai VFA yang diperoleh pada aspal dengan menggunakan agregat Desa Lipukasi Kabupaten Barru Sulawesi Selatan sebagai bahan pengganti agregat. Berikut grafik nilai stabilitas pada Gambar 4.6.

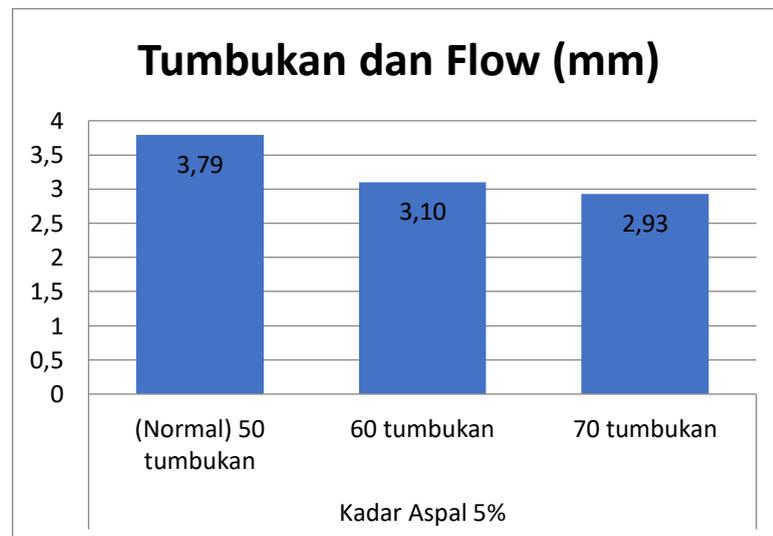


Gambar 4.6. Grafik hubungan antara tumbukan dengan VFA (%)
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Nilai VFA pada aspal porus dengan kadar aspal 5%, tumbukan 50 sebesar 71,5%, tumbukan 60 sebesar 69,85% dan tumbukan 70 sebesar 68,2%, maka nilai yang di dapat telah memenuhi spesifikasi minimal 65%. Dengan bertambahnya jumlah tumbukan maka nilai VFA akan semakin rendah.

e. Kelehan (Flow)

Nilai kelelahan (*Flow*) yang diperoleh pada aspal dengan menggunakan agregat Desa Lipukasi Kabupaten Barru Sulawesi Selatan sebagai bahan pengganti agregat. Berikut grafik nilai stabilitas pada Gambar 4.7.

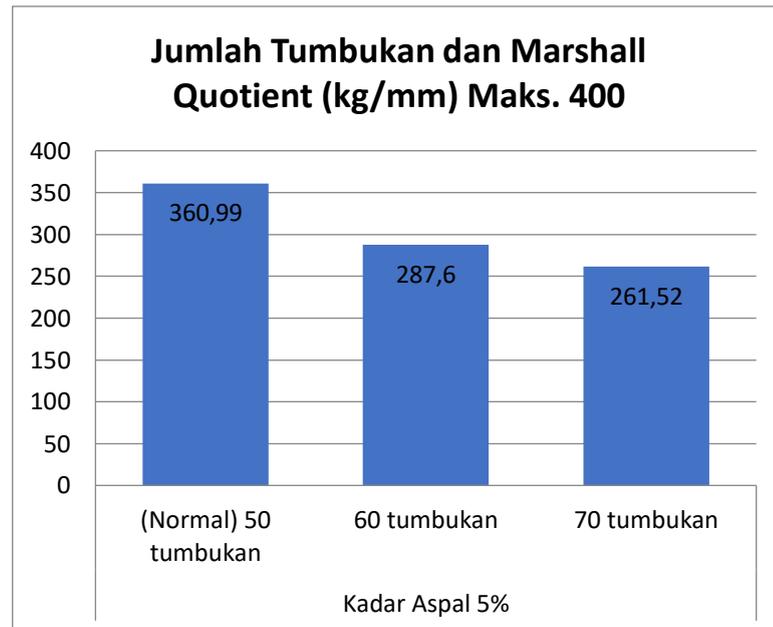


Gambar 4.7. Grafik hubungan antara tumbukan dengan *Flow* (mm)
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Nilai *Flow* pada aspal porus dengan kadar aspal 5%, tumbukan 50 sebesar 3,79 mm, tumbukan 60 sebesar 3,10 mm dan tumbukan 70 sebesar 2,93 mm, maka nilai yang di dapat telah memenuhi spesifikasi 2 mm – 6 mm. Dengan bertambahnya jumlah tumbukan maka nilai *Flow* akan semakin rendah.

f. Hasil bagi Marshall (Marshall Quotient, MQ)

Nilai MQ (*Marshall Quotient*) yang diperoleh pada aspal porus dengan menggunakan agregat dari Lipukasi sebagai bahan pengganti agregat. Berikut grafik nilai stabilitas pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik hubungan antara tumbukan dengan MQ (*Marshall Quotient*) (Kg/mm). (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Nilai *Marshall Quotient* pada aspal porus dengan kadar aspal 5% dengan jumlah tumbukan 50 sebesar 60,99Kg/mm, tumbukan 60 sebesar 287,6 Kg/mm dan tumbukan 70 sebesar 261,51 Kg/mm, maka nilai yang didapat telah memenuhi spesifikasi maksimal 400 Kg/mm.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian penggunaan agregat di Desa Lipukasi Kabupaten Barru pada campuran aspal porus terhadap pengujian karakteristik *Marshall* menggunakan variasi tumbukan 50 (normal), 60, dan 70 yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian *Marshall* pada aspal porus nilai stabilitas, VMA, VIM, VFA, *flow*, dan *marshall quotient* mengalami penurunan setiap penambahan jumlah tumbukan. Namun, semua jumlah variasi tumbukan aspal porus pada karakteristik *Marshall* memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
2. Dari hasil penelitian diperoleh nilai pada jumlah tumbukan 50 dan tumbukan 60 yang telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan layak digunakan dalam campuran aspal porus.

B. Saran

Beberapa saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Pada saat meneliti di laboratorium, pada pengujian analisa saringan dan pengujian *Marshall* diperlukan ketelitian agar tidak terjadi kesalahan.

2. Diharapkan pada proses perendaman sampel dibutuhkan ukuran *waterbath* yang lebih besar agar dapat menampung banyak sampel, sehingga dapat mengoptimalkan waktu pada pengujian sampel keseluruhan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap karakteristik campuran aspal porus menggunakan material Desa Lipukasi Kabupaten Barru dengan memperhatikan kekurangan penelitian yang telah dilaksanakan ini.
4. Diharapkan hasil penelitian ini kedepannya dapat digunakan sebagai bahan referensi tambahan, khususnya dilingkup prodi Teknik sipil Universitas Muhammadiyah Parepare.
5. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan agar pemerintah atau industri konstruksi sebaiknya mempertimbangkan penggunaan aspal porus dengan memanfaatkan material lokal dalam infrastruktur jalan.