

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Perkerasan jenis ini adalah campuran aspal panas, yang terdiri dari kerikil dan aspal yang merata. Campuran ini berfungsi sebagai bahan pengikat dengan komposisi yang sesuai, dan penting untuk memanaskan kedua bahan tersebut sebelum pencampuran. Tujuannya adalah untuk mengeringkan agregat dan mencapai kecukupan fluiditas dari aspal, sehingga pencampuran menjadi lebih mudah dilakukan. Dengan demikian, pemanasan membantu dalam mempersiapkan bahan-bahan tersebut untuk mencapai konsistensi campuran yang optimal dan kinerja perkerasan yang baik. Disebut "campuran panas" karena dicampur saat masih panas. Prosesnya dimulai di fasilitas pencampuran, dan setelah diangkut ke lokasi, bahan tersebut didistribusikan menggunakan alat penghampar (*paving machine*) untuk menghasilkan lapisan yang seragam dan lepas yang kemudian dipadatkan dengan menggunakan mesin pemadatan, dan akhirnya dihasilkan lapisan padst beton aspal. (Anggelica Hitipeuw¹, Suryanto Intan² 2018)

Metode Marshall, juga dikenal sebagai pendekatan *Central Quality Control and Monitoring Unit (CQCMU)*, memulai perencanaan campuran dengan kadar aspal efektif yang masih memenuhi standar. Dalam perencanaan perkerasan dengan metode tersebut, variasi agregat yang tersedia di lokasi dilakukan untuk memenuhi persyaratan terkait rongga udara, tebal selaput aspal, dan stabilitas campuran. Dalam konteks ini, kriteria utama adalah memastikan rongga udara dalam campuran memenuhi standar yang ditetapkan, bersamaan dengan menentukan kadar aspal yang efektif. Kadar aspal efektif ini kemudian akan mempengaruhi tebal selaput aspal yang terbentuk pada perkerasan. (Alamsyah, Said, and Alifuddin 2020)

Tiga jenis campuran aspal dengan durabilitas tinggi atau daya tahan yang tinggi dapat dihasilkan dengan menggunakan metode ini, yaitu Laston (Lapisan Aspal Beton), Lataston (Lapisan Tipis Aspal Beton), dan lapisan pondasi bawah serta lapisan pondasi atas. Dengan penggunaan metode ini, campuran aspal dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik proyek dan lingkungan yang bersangkutan, sehingga memungkinkan pencapaian kinerja yang optimal dan

daya tahan yang tinggi terhadap kondisi lingkungan dan beban lalu lintas. (Alamsyah, Said, and Alifuddin 2020).

Tujuan umum dari rencana campuran perkerasan aspal adalah mengatur kombinasi gradasi agregat yang ekonomis, yang memenuhi batas spesifikasi, serta bahan pengikat (aspal), sehingga memenuhi kriteria-kriteria berikut:

- Kadar aspal yang memadai untuk menjaga keawetan perkerasan: Memastikan bahwa campuran memiliki kadar aspal yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan terhadap pengaruh cuaca dan beban lalu lintas.
- Stabilisasi yang memadai untuk kebutuhan lalu lintas: Menyediakan stabilisasi yang memadai sehingga campuran dapat menahan beban lalu lintas tanpa mengalami pergeseran atau perubahan bentuk yang signifikan.
- Kadar rongga yang tepat dalam campuran: Mencapai kadar rongga yang memadai dalam total campuran padat, yang cukup untuk sedikit tambahan pemadatan akibat beban lalu lintas tanpa menyebabkan aspal keluar dari campuran atau hilangnya stabilitas, namun cukup rendah untuk mencegah masuknya udara ke dalam rongga.
- Proses pencampuran dan pemadatan yang mudah: Memastikan bahwa proses pencampuran dan pemadatan dapat dilakukan dengan tingkat kemudahan yang memadai, sehingga memungkinkan untuk mencapai konsistensi campuran yang optimal.
- Kekesatan yang cukup untuk lalu lintas yang aman: Menjamin bahwa campuran memiliki kekesatan yang memadai untuk memungkinkan lalu lintas melewatinya dengan aman, tanpa risiko kecelakaan atau kerusakan pada perkerasan.

2.2. Konstruksi Perkerasan Lentur Jalan

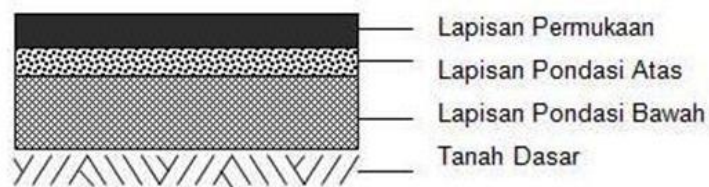
Konstruksi perkerasan lentur jalan harus memenuhi syarat-syarat tertentu yang dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok utama, yaitu:

1. Syarat-syarat berlalu lintas: Dipandang dari segi keamanan dan kenyamanan berlalu lintas, konstruksi perkerasan lentur harus memenuhi syarat-syarat berikut:
 - a. Permukaan yang rata, tidak bergelombang, dan tidak berlubang: Memastikan permukaan jalan tetap halus dan tidak memiliki cacat yang dapat mengganggu pengguna jalan.

- b. Permukaan cukup kaku: Konstruksi perkerasan harus cukup kaku untuk menahan beban yang bekerja di atasnya tanpa mengalami deformasi yang signifikan.
 - c. Permukaan cukup kasar: Permukaan jalan harus memberikan gesekan yang baik antara ban kendaraan dengan permukaan jalan untuk mencegah selip.
 - d. Permukaan tidak mengkilap: Hindari permukaan jalan yang bersinar atau mengkilap saat terkena sinar matahari, yang dapat menyebabkan gangguan penglihatan bagi pengemudi.
2. Syarat-syarat struktural atau kekuatan: Dipandang dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban, konstruksi perkerasan lentur harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
- a. Ketebalan yang cukup: Konstruksi harus memiliki ketebalan yang memadai untuk menyebarkan beban muatan ke tanah dasar tanpa menyebabkan kegagalan struktur.
 - b. Kedap air: Konstruksi harus memiliki sifat kedap air sehingga tidak mudah meresapkan air ke lapisan bawahnya.
 - c. Permukaan mudah mengalirkan air: Konstruksi harus dirancang sedemikian rupa sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat dengan cepat dialirkan ke saluran pembuangan.
 - d. Kekakuan yang memadai: Konstruksi harus memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang signifikan atau kerusakan struktural.

Pada umumnya, perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan yang tersusun dari bawah ke atas, sebagai berikut :

- a. Lapisan tanah dasar (sub grade)
- b. Lapisan pondasi bawah (subbase course)
- c. Lapisan pondasi atas (base course)
- d. Lapisan permukaan / penutup (surface course)



Gambar 2. 1 Lapis Perkerasan Jalan Lentur

2.3. Campuran Aspal Panas

Campuran Aspal Panas (*Hotmix*) adalah campuran agregat halus dengan agregat kasar, dan bahan pengisi (Filler) dengan bahan pengikat aspal dalam kondisi suhu panas tinggi. Dengan komposisi yang diteliti dan diatur oleh spesifikasi teknis. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2019)

Kelebihan Campuran Aspal Beton (Hot Mix) antara lain:

Waktu pekerjaan yang relatif sangat cepat: Proses pengerjaan campuran aspal beton relatif cepat, sehingga memungkinkan efisiensi waktu dalam proyek konstruksi.

1. Kedap air: Lapisan konstruksi aspal beton memiliki sifat kedap air, yang membuatnya tahan terhadap penetrasi air dan kerusakan akibatnya.
2. Dapat dilalui kendaraan setelah penghamparan: Setelah proses penghamparan selesai, campuran aspal beton dapat langsung dilalui oleh kendaraan, tanpa memerlukan waktu penjemuran atau pengeringan tambahan.
3. Sifat fleksibel: Campuran aspal beton memiliki sifat fleksibel, yang memberikan kenyamanan bagi pengendara karena mampu menyerap guncangan dan getaran dari lalu lintas.
4. Pemeliharaan yang relatif mudah dan murah: Perawatan atau pemeliharaan terhadap campuran aspal beton cenderung lebih mudah dan ekonomis dibandingkan dengan jenis perkerasan lainnya.
5. Stabilitas yang tinggi: Campuran aspal beton memiliki stabilitas yang tinggi, sehingga mampu menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi atau kerusakan struktural yang signifikan.

2.4. Jenis – jenis Campuran Aspal

Jenis perkerasan lentur yang digunakan di Indonesia pada umumnya menggunakan campuran aspal panas. Adapun beberapa jenis campuran aspal panas yang umum digunakan di Indonesia, antar lain; Lapis Aspal Beton (Laston) atau AC (Asphalt Concrete), Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) atau HRS (Hot Rolled Sheets) dan Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir). (Napitupulu 2009)

2.4.1. Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir, HRS)

Latasir adalah campuran panas pasir dengan aspal. Campuran Latasir ini digunakan sebagai lapis permukaan perkerasan pada jalan-jalan dengan lalu lintas ringan (kurang dari 0,5 juta ESA). Campuran Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Kelas A dan B merupakan jenis campuran yang cocok untuk jalan dengan lalu lintas ringan, terutama di daerah di mana agregat kasar sulit diperoleh. Pemilihan antara kelas A dan B bergantung pada gradasi pasir yang tersedia. Campuran Latasir biasanya memerlukan penambahan filler untuk memenuhi persyaratan sifat-sifat yang diinginkan. Karena campuran ini cenderung memiliki daya tahan yang rendah terhadap pembentukan alur, penggunaannya tidak disarankan untuk lapisan yang tebal, jalan dengan lalu lintas berat, atau daerah dengan kondisi tanjakan.(Campuran Latasir Menggunakan Pasir dan Abu Batu Ex Dwi Permata Quarry Suratnan Tahir et al., n.d.)

2.4.2. Lapis Tipis Beton Aspal (Lataston, HRS)

Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston). Lataston mempunyai persyaratan kekuatan yang sama dengan tipikal yang disyaratkan untuk aspal beton konvensional (AC) yang bergradasi menerus. Lataston terdiri dari dua macam campuran, yaitu Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) dan Lataston Lapis Permukaan (HRS-Wearing Course). Ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. (Campuran Latasir Menggunakan Pasir dan Abu Batu Ex Dwi Permata Quarry Suratnan Tahir et al. n.d.)

2.4.3. Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis Aspal Beton (LASTON) merupakan lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal keras. Campuran ini dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Material agregatnya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, dan filler yang memiliki gradasi baik dan dicampur dengan aspal dengan tingkat penetrasi tertentu. Kekuatan LASTON terutama berasal dari sifat mengunci (interlocking) agregat serta sedikit kontribusi dari mortar yang terbentuk dari pasir, filler, dan aspal. (Teori, n.d.)

Pembuatan LASTON dimaksudkan untuk memberikan daya dukung dan memiliki sifat tahan terhadap keausan akibat lalu lintas, kedap air, memiliki nilai struktural yang baik, memiliki stabilitas yang tinggi, dan sensitif terhadap kesalahan dalam perencanaan dan pelaksanaan.

Berdasarkan fungsinya, aspal beton dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Lapis Permukaan (Lapis Aus): Berfungsi sebagai lapisan permukaan yang tahan terhadap cuaca, gaya geser, dan tekanan roda. Lapisan ini juga memberikan perlindungan kedap air untuk lapisan di bawahnya dari rembesan air. Dikenal dengan nama Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC).
2. Lapis Pengikat: Berfungsi sebagai lapisan pengikat antara lapis permukaan dan lapis pondasi. Dikenal dengan nama Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC).
3. Lapis Pondasi: Jika digunakan sebagai lapisan pondasi pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan. Dikenal dengan nama Asphalt Concrete-Base (AC-Base).

Ketentuan mengenai sifat-sifat campuran beraspal diatur oleh Dinas Perumahan dan Prasarana untuk memastikan bahwa campuran tersebut sesuai dengan standar yang ditetapkan dan memenuhi kebutuhan spesifik dari proyek konstruksi jalan. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2019)

2.5. Agregat

Agregat merupakan bagian terbesar dari campuran aspal. Material agregat yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan tugas utamanya untuk menahan beban lalu lintas. Agregat dari bahan batuan pada umumnya masih diolah lagi dengan mesin pemecah batu (*stone crusher*) sehingga didapatkan ukuran sebagaimana dikehendaki dalam campuran. Agar dapat digunakan sebagai campuran aspal, agregat harus lolos dari berbagai uji yang telah ditetapkan. Agregat. Berdasarkan pengolahannya agregat yang dipergunakan dalam perkerasan lentur dapat dibedakan atas agregat alam, agregat yang mengalami proses terlebih dahulu dan agregat buatan. Berdasarkan besar kecilnya butiran agregat dibagi atas agregat kasar dan agregat halus.(Fannisa 2019)

2.5.1. Agregat Halus

Agregat halus adalah hasil pemecahan batu yang memiliki sifat lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan oleh saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi utama agregat halus adalah untuk memberikan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen pada perkerasan dengan cara saling mengunci (*interlocking*) dan menciptakan gesekan antar butiran. Untuk mencapai tujuan ini, sifat eksternal yang diperlukan adalah angularity (bentuk menyudut) dan kekasaran permukaan butiran (*particle surface roughness*). Dengan memiliki angularity yang baik dan kekasaran permukaan

yang sesuai, agregat halus akan lebih efektif dalam menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi pada perkerasan. (Saleh, Latif, and Suparma 2015)

Beberapa pengertian dari agregat halus yaitu;

- a. Menurut SNI 02-6820-2002, agregat halus adalah agregat dengan ukuran butiran maksimum 4,75 mm.
- b. Menurut Neville (1997), agregat halus adalah agregat yang ukurannya tidak lebih dari 5 mm, sehingga bisa berupa pasir alam atau hasil pemecahan batu dari pemecah batu.
- c. Menurut SNI 1737-1989-F, agregat adalah kumpulan butiran batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya, baik yang berasal dari alam maupun yang diproduksi secara buatan. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2019)

Persyaratan agregat halus secara umum menurut SNI 03-6821-2002 adalah sebagai berikut:

- a. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang tajam dan keras.
- b. Butiran halus harus bersifat tahan lama, yang berarti tidak boleh pecah atau hancur karena pengaruh cuaca. Keketahanan agregat halus dapat diuji dengan larutan garam jenuh. Jika terkena larutan natrium sulfat, bagian yang hancur maksimum dapat mencapai 10% dari berat total.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering. Jika kadar lumpur melebihi 5%, pasir harus dicuci untuk menghilangkan lumpurnya. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat 2019)

2.5.2. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah komponen utama dalam pembinaaan struktur konkrit. Ia memainkan peranan yang penting dalam proses membantu konkrit. Agregat kasar adalah terdiri dari serpihan batu yang ukurannya melebihi 5 mm sehingga ukuran maksimum yang dibenarkan untuk kerja – kerja konkrit yang tertentu, biasanya tidak melebihi 50 mm. Agregat kasar biasanya diambil dari batu gunung, batu sungai (batu kali) dan hasil smpingan proses penampangan. (Sudarman 2020)

2.5.3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan Pengisi (*filler*) berfungsi sebagai pengisi rongga udara pada material sehingga memperkaku lapisan aspal. Bahan yang sering digunakan sebagai *filler* adalah *fly ash*, abu sekam, debu batu kapur, dan semen Portland. *Filler* yang baik adalah yang tidak tercampur dengan kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki dan dalam keadaan kering.

Fungsi *filler* dalam campuran adalah:

- a. Untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
- b. *Filler* dan aspal secara bersamaan akan membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar. Dan mengisi ruang antara agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan.

2.5.4. Aspal

Aspal adalah material perekat yang pada suhu ruangan berbentuk padat hingga agak padat dan bersifat termoplastis, yang berarti aspal akan mencair jika dipanaskan pada suhu tertentu dan akan membeku kembali jika suhunya turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan bahan pembentuk campuran perkerasan jalan. Bahan pengikat yang digunakan adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70 produksi Pertamina.

Kandungan aspal yang berlebihan dalam campuran LASTON akan menyebabkan campuran menjadi sangat lembek sehingga sulit untuk mendapatkan lapisan yang stabil saat pemadatan. Namun, penggunaan aspal yang kurang akan menyebabkan campuran menjadi kaku dan cenderung retak-retak saat pemadatan.

Dalam pengujian laboratorium, terutama pengujian yang menggunakan metode Marshall, penentuan kadar aspal dilakukan dua kali. Penentuan pertama bertujuan untuk menentukan kadar aspal rencana atau tengah, yang dilakukan dengan menggunakan rumus untuk merancang campuran. Sedangkan penentuan kedua adalah untuk menentukan kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum hanya dapat ditentukan melalui pengujian laboratorium terhadap parameter Marshall. (Pauzi 2022)

2.6. Agregat Gabungan

Agregat gabungan adalah kombinasi dari beberapa fraksi agregat dengan persentase tertentu untuk mencapai gradasi yang sesuai dengan spesifikasi. Agregat gabungan untuk campuran aspal diukur dalam persentase berat agregat dan harus memenuhi batasan yang ditetapkan serta berada di luar zona larangan (*Restriction Zone*). Untuk mencapai gradasi agregat yang diinginkan sesuai spesifikasi, kombinasi agregat dapat ditentukan dengan menggunakan metode analitis atau grafis. Dalam penelitian ini, metode analitis digunakan untuk menentukan kombinasi agregat. (Gunawan 2016)

Dalam metode analitis, rancangan agregat campuran dapat ditunjukkan melalui rumus dasar proses pencampuran dua, tiga, atau lebih fraksi agregat. Berikut adalah rumus dasar untuk proses pencampuran agregat::

$$P = aA + bB + cC \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan:

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm yang diinginkan,diperoleh dari spesifikasi campuran.

A = Persen lolos saringan Fraksi agregat A untuk bukaan d mm.

B = Persen lolos saringan fraksi agregat B untuk bukaan d mm.

C = Persen lolos saringan fraksi agregat C untuk bukaan d mm.

a = Proporsi dari fraksi agregat A.

b = Proporsi dari fraksi agregat B.

c = proporsi dari fraksi agregat C.

$$(a + b + c) = 1 \text{ atau } 100 \%$$

Nilai a, b, c dalam rumus-rumus analitis sering kali diperoleh melalui metode "*trial and error*". Hal ini karena perhitungan P yang dilakukan untuk satu ukuran saringan tidak selalu menghasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi secara keseluruhan. Proporsi yang optimal adalah proporsi yang menghasilkan agregat campuran dengan gradasi yang mendekati gradasi tengah rentang spesifikasi. Oleh karena itu, proses penentuan nilai a, b, c sering kali melibatkan percobaan berulang untuk mencapai gradasi yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Ini termasuk pengujian campuran dalam skala kecil di laboratorium untuk mengevaluasi kinerja campuran sebelum diaplikasikan dalam skala produksi yang lebih besar.

Tabel 2. 1 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1 1/2"	37.5								100
1"	25			100				100	90-100
3/4"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90

½"	12.5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
¾"	9.5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-50	66-82	52-71
No.4	4.75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No. 8	2.36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No. 16	1.18	14-21					21-40	18-38	13-30
No. 30	0.600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No. 50	0.300	10-15					9-22	7-20	6-15
No. 100	0.150						6-15	5-13	4-10
No. 200	0.075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Sumber buku spesifikasi 2018

2.7. Perhitungan – Perhitungan Dalam Campuran Aspal Beton

Titik kontrol gradasi agregat adalah batas-batas utama yang menentukan rentang gradasi yang harus dipenuhi oleh agregat. Batas-batas gradasi ini ditetapkan pada tiga ukuran ayakan utama:

1. Ayakan ukuran nominal maksimum: Merupakan ukuran terbesar dari agregat yang diperbolehkan dalam campuran. Ini biasanya merupakan ukuran agregat terbesar yang tidak tertahan oleh ayakan tertentu dalam rangkaian ayakan standar.
2. Ayakan menengah (2,36 mm): Ayakan dengan ukuran lubang sebesar 2,36 mm (No. 8 dalam standar ASTM) sering digunakan sebagai titik kontrol untuk fraksi agregat kasar.
3. Ayakan terkecil (0,075 mm): Ayakan dengan ukuran lubang sebesar 0,075 mm (No. 200 dalam standar ASTM) sering digunakan sebagai titik kontrol untuk fraksi agregat halus.
4. Dengan menetapkan batas-batas gradasi pada titik-titik kontrol ini, spesifikasi gradasi agregat dapat diatur untuk memastikan bahwa campuran mencapai kinerja yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan proyek konstruksi jalan yang bersangkutan.

2.7.1. Formula Campuran Rencana

Perkiraan pertama kadar aspal rencana dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$P_b = 0.035(\%CA) + 0.045(\%FA) + 0.18(\%FF) + \text{Konstanta} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

P_b = Kadar aspal perkiraan

CA =Agregat kasar tertahan saringan no.8

FA =Agregat halus lolos saringan no.8 dan tertahan no.200

FF =Bahan pengisi (filler) lolos saringan no.200

Nilai konstanta sekitar 0.5 = 1.0 untuk laston (AC) dan 2.0-3.0 untuk laston (HRS)

Hasil perhitungan dibulatkan mendekati 0,5% terdekat. Untuk variasi kadar aspal dibuat dua kadar aspal diatas dan dua kadar aspal dibawah kadar aspal perkiraan. Misalnya, perhitungan diperoleh 5,80% maka dibulatkan menjadi 6%. Variasi kadar aspal diambil 5% ,5.5%, 6.0%, 6,5% dan 7,0%.

Pengujian – pengujian pada campuran percobaan harus meliputi penentuan berat jenis maksimum campuran beraspal (AASHTO T-209-74), Pengujian sifat-sifat Marshall (SIN 06-2489-1991) dan kepadatan mutlak campuran rencana harus memenuhi semua ketentuan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 2 Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Laston

Sifat - sifat campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Jumlah Tumbukan perbidang		75		112
Rasio Partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi Aspal (%)	Min	65		
Stabilitas Marshall (Kg)	Min	800		1800
pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ° C	Min	900		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (Refusal)	Min	2		

Sumber buku spesifikasi 2018

Catatan;

- a. Modifikasi Marshall
- b. Rongga dalam campuran dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (Gmm test, SNI 03 6893-2002).
- c. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), disarankan menggunakan penumbuk bergetar (*vibratory hammer*) agar pecahnya butiran agregat dalam campuran dapat

dihindari. Jika digunakan penumbukan manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiamater 6 inch dan 400 untuk cetakan berdiamater 4 inch.

Tabel 2.3 Sifat – sifat Campuran Laston

SIFAT-SIFAT	SPESIFIKASI
Pasir	15
Bahan Anti Pengelupasan	0,2 - 0,4
Filler	max 2
Berat Jenis Aspal	-
Berat Jenis Bulk Agregat	-
Proporsi Agregat	-
Rasio Partikel Lolos no. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif	0.6 - 1.6
Penyerapan Aspal	-
Kadar Aspal Efektif	-
Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)	-
Stabilitas Marshall	Min 800
Kelelahan Marshall	2.0 - 4.0
Rongga dalam campuran (VIM)	3.0 - 5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	Min 15
Rongga terisi aspal (VFB)	Min 65

Sumber buku spesifikasi 2018

2.7.2. Rumus – Rumus Untuk Campuran Beraspal

Untuk mengetahui karakteristik baik material maupun campuran aspal dapat menggunakan rumus – rumus sebagai berikut;

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (SK SIN M – 08 -1986 – F)

a. Berat jenis (*Bulk Specific Gravity*) = $\frac{Bk}{(Bj-Ba)}$ (2.3)

b. Berat jenis kering Permukaan (*Saturated Surface Dry*) = $\frac{Bj}{(Bj-Ba)}$ (2.4)

c. Berat jenis semu (*Apperent*) = $\frac{Bk}{(Bk-Ba)}$ (2.5)

d. Penyerapan air = $\frac{(Bj-Bk)}{(Bk)} \times 100\%$ (2.6)

Keterangan :

Bk = Berat uji kering oven (gram)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh didalam air (gram)

2. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus

$$\text{Berat jenis} = \frac{B_k}{(B+500-B_t)} \quad (2.7)$$

e. Berat jenis permukaan = $\frac{500}{(B+500-B_t)}$ (2.8)

f. Berat jenis Semu = $\frac{B_k}{(B+B_k-B_t)}$ (2.9)

g. Penyerapan = $\frac{(500-B_t)}{B_k} \times 100\%$ (2.10)

Keterangan ;

B = Berat Piknometer berisi air (gram)

Bt = Berat Pinometer berisi benda uji dan air (gram)

3. Pemeriksaan keausan dengan mesin abrasi Los angeles (SK SNI M-08-1986-F)

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan ;

a = Berat benda uji

b = Berat benda uji tertahan saringan no 12 (gram)

4. Berat Jenis agregat Bulk

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan ;

Gsb = Berat jenis Bulk total agregat

P1,P2...,Pn =Persentase masing – masing agregat

G1,G2.,Gn =Berat jenis masing – masing agregat

5. Berat jenis agregat efektif

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan ;

Gse = Berat jenis efektif agregat

Pmm = Persentase berat total campuran (=100)

Gmm = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara (ASTM 2041)

Gb = Berat jenis aspal

Pb = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum yang diuji dengan ASTM 2041, persen terhadap berat total campuran.

6. Berat jenis maksimum campuran dengan aspal berbeda

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}$$

Keterangan ;

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol ASTM 2041)

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

P_{mm} = Persentase berat total campuran (=100)

G_b = Berat jenis aspal

P_s = Kadar agregat, Persen terhadap berat total campuran

P_b = kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum yang diuji dengan ASTM 2041, persen terhadap berat total campuran.

7. Rongga diantara mineral agregat (VMA) terhadap berat agregat

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100+P_b)} \times 100 \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan ;

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volumen bulk

P_s = kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

G_{mb} = Berat jenis Bulk campuran padat (AASHTO T-166)

G_{sb} = Berat jenis bulk agregat

P_b = Kadar aspal

8. Rongga didalam campuran

$$VIM = 100 - \frac{G_{mm} \cdot G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan ;

VIM = Rongga udara campuran, persen total campuran

G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat (AASHTO T-166)

Gmm = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol (ASTM 2041)

9. Rongga terisi aspal (VFB)

$$VFB = \frac{100 \cdot (VMA \cdot VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan ;

VFB = Rongga terisi aspal, persen VMA

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volumen bulk

VIM = Rongga didalam campuran, persen total campuran.

10. Penyerapan aspal

$$Pba = 100 \frac{Gse - Gsb}{Gsb \cdot Gse} \times 100 \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan;

Pba = Penyerapan aspal, persen total agregat

Gse = Berat jenis efektif agregat

Gsb = Berat jenis bulk agregat

Gb = Berat jenis aspal

11. Kadar aspal efektif

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} \times Ps \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan ;

Pbe = Kadar aspal efektif, persen total campuran

Pba = Penyerapan aspal, persen total agregat

Pb = Kadar aspal, persen total campuran

Ps = Kadar agregat, persen total campuran

2.8. Karakteristik Campuran Aspal Beton

Berikut adalah karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas:

1. Stabilitas
2. Durabilitas
3. Fleksibilitas
4. Tahanan geser (*Skid Resistance*)

5. Ketahanan kelelahan (*Fatigue Resistance*)
6. Kemudahan pekerjaan (*Workability*)
7. *Impermeability*

2.8.1. Stabilitas

Stabilitas lapisan perkerasan jalan merujuk pada kemampuan lapisan tersebut untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk yang signifikan, seperti gelombang, alur, atau bleeding (Sukirman Silvia, 1992). Tingkat stabilitas yang dibutuhkan berkaitan dengan jumlah lalu lintas dan jenis kendaraan yang akan melintasi jalan tersebut. Jalan yang memiliki volume lalu lintas tinggi dan melayani kendaraan berat membutuhkan stabilitas yang lebih besar daripada jalan yang hanya dilalui oleh kendaraan ringan saja. Dengan demikian, stabilitas lapisan perkerasan jalan menjadi penting untuk memastikan keamanan dan kenyamanan pengguna jalan serta untuk menjaga integritas struktural jalan tersebut. (Alamsyah, Said, and Alifuddin 2020)

Kestabilan yang terlalu tinggi pada lapisan perkerasan jalan dapat mengakibatkan beberapa masalah. Pertama, kestabilan yang berlebihan dapat membuat lapisan menjadi kaku dan cenderung rapuh, meningkatkan risiko retakan pada permukaan jalan. Kedua, jika volume antar agregat kurang karena kestabilan yang tinggi, dapat menyebabkan kebutuhan akan kadar aspal menjadi rendah. Akibatnya, lapisan akan memiliki film aspal yang tipis, yang membuat ikatan aspal tidak kuat dan mudah terlepas dari agregat. Kondisi ini dapat mengurangi durabilitas lapisan perkerasan jalan, meningkatkan risiko kerusakan akibat beban lalu lintas dan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk mencapai tingkat kestabilan yang tepat dalam perancangan campuran aspal beton untuk memastikan kinerja yang optimal dan durabilitas yang baik.

Stabilitas terjadi sebagai hasil dari tiga faktor utama: geseran antara butir, penguncian antara partikel, dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan mengoptimalkan penggunaan agregat yang tepat, termasuk gradasi yang sesuai dan karakteristik fisik agregat yang optimal, kita dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal beton. Agregat dengan bentuk dan tekstur yang baik akan memberikan geseran yang optimal antara butir, sedangkan penguncian antara partikel dapat ditingkatkan dengan memperhatikan interlocking antara agregat yang dipilih. Selain itu, penggunaan aspal berkualitas tinggi dengan daya ikat yang baik akan membantu meningkatkan stabilitas campuran secara keseluruhan. Dengan demikian, upaya untuk meningkatkan stabilitas

campuran aspal beton harus mempertimbangkan dengan cermat faktor-faktor ini untuk mencapai kinerja yang optimal dalam aplikasi jalan yang sesungguhnya:

1. Agregat dengan gradasi yang rapat (Dense Graded)
2. Agregat dengan permukaan yang kasar.
3. Agregat berbentuk kubus.
4. Aspal dengan penetrasi rendah.
5. Aspal dalam jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir

Agregat dengan gradasi yang baik, terutama gradasi yang rapat, cenderung menghasilkan rongga antara butiran agregat yang kecil, yang dikenal sebagai Voids in Mineral Agregat (VMA). Kondisi ini dapat meningkatkan stabilitas campuran karena interlocking yang kuat antara agregat, namun dapat mengakibatkan kebutuhan akan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat tersebut. Namun, VMA yang kecil juga dapat menghasilkan film aspal yang tipis karena aspal memiliki ruang yang terbatas untuk melapisi agregat. Film aspal yang tipis cenderung mudah lepas, menyebabkan lapisan tidak lagi tahan air dan menjadi rentan terhadap oksidasi, yang dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan perkerasan.

Di sisi lain, jika menggunakan terlalu banyak aspal, VMA yang kecil juga bisa terjadi, menyebabkan rongga antara campuran yang kecil, yang disebut Voids in Mix (VIM). Ketika terjadi pemadatan akibat beban lalu lintas, lapisan aspal bisa meleleh keluar (bleeding) karena tidak memiliki cukup ruang kosong untuk menampung aspal berlebih. Oleh karena itu, perlu diperhatikan agar campuran aspal memiliki VMA dan VIM yang seimbang untuk memastikan kinerja campuran yang optimal dan mencegah masalah seperti bleeding dan kerusakan akibat oksidasi. (Kurnia 2016)

2.8.2. Pengawetan/Daya Tahan (*Durabilitas*)

Durabilitas beton aspal merujuk pada kemampuannya untuk menerima beban lalu lintas secara berkelanjutan, termasuk berat kendaraan dan gesekan antar roda kendaraan dengan permukaan jalan. Durabilitas juga mencakup kemampuan campuran untuk menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti udara, air, dan perubahan temperatur.

Faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas beton aspal termasuk:

1. Tebalnya Film Aspal: Film aspal yang cukup tebal dapat memberikan perlindungan yang baik terhadap agregat di dalam campuran, mencegah penetrasi air dan mengurangi kerentanan terhadap oksidasi.

2. Banyaknya Pori dalam Campuran: Pori-pori dalam campuran aspal dapat menyebabkan masalah ketahanan air dan mempengaruhi kestabilan struktur campuran. Semakin sedikit pori dalam campuran, semakin baik durabilitasnya.
3. Kepadatan Campuran: Kepadatan campuran aspal juga berperan penting dalam durabilitasnya. Campuran yang padat memiliki struktur yang lebih kokoh dan lebih tahan terhadap deformasi dan kerusakan akibat beban lalu lintas.
4. Kedap Airnya Campuran: Campuran aspal yang tahan air akan lebih mampu melindungi struktur di bawahnya dari kerusakan akibat pembekuan dan pelembaban yang berlebihan.

Dengan memperhatikan faktor-faktor ini, dapat dirancang campuran aspal yang memiliki durabilitas yang optimal untuk memastikan jalan tetap kokoh dan tahan lama dalam menghadapi beban lalu lintas dan kondisi lingkungan yang beragam..(Falih, Arifin, and Bowoputro 2018)

2.8.3. *Flexibilitas (Kekuatan)*

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan jalan merujuk pada kemampuan lapisan tersebut untuk menyesuaikan diri dengan deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang-ulang tanpa mengalami retak atau perubahan volume yang signifikan. Fleksibilitas yang tinggi sangat penting untuk mencegah kerusakan dan memastikan kenyamanan pengguna jalan.

Kemampuan untuk mencapai fleksibilitas yang tinggi pada lapisan perkerasan dapat diperoleh dengan beberapa langkah, termasuk:

1. Penggunaan Agregat Bergradasi Senjang: Agregat dengan gradasi yang sesuai dan senjang cenderung menghasilkan Voids in Mineral Agregat (VMA) yang lebih besar. VMA yang besar memungkinkan ruang yang cukup untuk pergerakan agregat selama deformasi tanpa menyebabkan retak pada lapisan.
2. Penggunaan Aspal Lunak: Penggunaan aspal dengan penetrasi tinggi, atau yang lebih lunak, dapat meningkatkan fleksibilitas lapisan perkerasan. Aspal yang lebih lunak cenderung memiliki elastisitas yang lebih baik, memungkinkan lapisan untuk menyesuaikan diri dengan deformasi tanpa mengalami retak.
3. Penggunaan Aspal yang Cukup Banyak: Aspal yang cukup banyak dalam campuran dapat menghasilkan Voids in Mix (VIM) yang lebih kecil. VIM yang kecil mengurangi risiko terjadinya retak dan memungkinkan lapisan perkerasan untuk tetap fleksibel saat mengalami beban lalu lintas.

Dengan menerapkan langkah-langkah ini, dapat diharapkan bahwa lapisan perkerasan akan memiliki fleksibilitas yang optimal untuk menahan deformasi dan menjaga kinerja jalan yang baik selama jangka waktu yang lama.

2.8.4. Tahan Geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*) mengacu pada kemampuan permukaan beton aspal, terutama dalam kondisi basah, untuk memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga mencegah tergelincir atau slip. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kekesatan jalan meliputi kepadatan campuran, tebalnya film aspal, dan ukuran maksimum butir agregat. Agregat yang digunakan tidak hanya perlu memiliki permukaan yang kasar, tetapi juga harus tahan terhadap abrasi sehingga tidak mudah menjadi licin karena penggunaan kendaraan yang berulang-ulang.

2.8.5. Ketahanan Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan merujuk pada kemampuan lapisan aspal beton untuk menanggung beban berulang tanpa mengalami kelelahan seperti pembentukan alur (*rutting*) dan retak. Faktor-faktor yang memengaruhi ketahanan terhadap kelelahan meliputi:

1. VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah dapat menyebabkan terjadinya kelelahan dengan cepat.
2. VMA yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat membuat lapisan perkerasan menjadi lebih fleksibel.

2.8.6. Kemudahan Pekerjaan (*Workability*)

Kemudahan pekerjaan merujuk pada kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan pelaksanaan ini sangat menentukan efisiensi pekerjaan secara keseluruhan. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan meliputi viskositas (kekentalan) aspal dan respons aspal terhadap perubahan temperatur. (Anggelica Hitipeuw¹, Suryanto Intan² 2018)

2.8.7. Kedap Air (*Impermeability*)

Impermeability merupakan sifat yang menunjukkan bahwa campuran aspal harus mampu menjadi kedap air, sehingga dapat melindungi lapisan perkerasan yang berada di bawahnya dari kerusakan

yang disebabkan oleh air. Kemampuan ini penting karena air dapat merusak campuran aspal dan mengurangi kekuatan serta kemampuan lapisan tersebut untuk menahan beban lalu lintas. (Manangkot 2019)

2.8.9. Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Parameter Marshall

Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dengan parameter Marshall adalah sebagai berikut:

1. Stabilitas: Stabilitas akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal, mencapai nilai maksimum, dan kemudian menurun setelah mencapai puncaknya.
2. Kelelehan atau Flow: Kelelehan atau flow akan terus meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal.
3. Berat Volume Identik dengan Stabilitas: Lengkung berat volume akan memiliki pola yang identik dengan lengkung stabilitas. Namun, nilai stabilitas tercapai pada kadar aspal yang sedikit lebih tinggi daripada kadar aspal yang menghasilkan VMA stabilitas maksimum.
4. Volume Udara Terperangkap (VIM): Lengkung VIM akan terus menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal, mencapai nilai minimum akhir.
5. Volume Mineral Terisi (VMA): Lengkung VMA akan turun hingga mencapai nilai minimum, kemudian akan mulai meningkat kembali seiring dengan peningkatan kadar aspal.
6. Volume Aspal Terisi (FVA): Lengkung FVA akan bertambah seiring dengan peningkatan kadar aspal, karena semakin banyak terisi oleh aspal.

2.9. Karakteristik Material QuarryNaru

Ketersediaan agregat sebagai bahan pembuatan jalan di kabupaten Ngada adalah salah satunya terletak di wilayah Naru kabupaten Ngada. *Quarry* Naru merupakan salah satu hasil dari letusan gunung merapi yang ada di kabupaten Ngada, lokasi keterdapatn bahan galian ini adalah lokasi yang mudah diakses, kondisi jalan yang baik, sarana transportasi cukup memadai serta dekat dengan beberapa pusat pertumbuhan di Kabupaten Ngada, yaitu Bajawa dan sekitarnya. Agregat yang diambil dari wilayah tersebut, kemudian diolah dengan mesin pemecah batu (*Stone Crusser*). Sumber material (*Quarry*) Naru adalah salah satu sumber material di Kabupaten Ngada yang materialnya sering digunakan sebagai material perkerasan jalan.



Gambar 2. 2 Lokasi Quarry Naru
Sumber ; <https://www.kompasiana.com>

2.10. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini antara lain:

1. Pengujian Perhitungan Campuran

- a. SNI-06-2489-1991, Pengujian Campuran Beraspal dengan Alat Marshall (ASTHO T-245-78)

2. Pemeriksaan Material

- a) SNI-03-1968-1990, Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (ASTHO T-27)
- b) SNI-06-2456-1991, Penetrasi Bahan – Bahan Aspal (ASTHO T- 46)
- c) SNI-06-2432-1991, Daktalitas Bahan dan Aspal (ASTHO T-51)
- d) SNI-03-2417-1991, Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles (ASTHO T-96)
- e) SNI-03-2439-1991, Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (ASTHO T-182-1970)
- f) SNI-06-2441-1991, Pengujian Berat Jenis Aspal Padat
- g) SNI-03-1969-1990, Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar
- h) SNI-03-1970-1990, Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus
- i) SNI-03-2439-1991, Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (ASTHO T-182-1970)
- j) Metode pengujian kehilangan berat minyak dan aspal dengan cara A .