



Desain Gradasi Campuran Beton Aspal Menggunakan Desain Kerangka Agregat Untuk Diaplikasikan Sebagai Lapis AC-Base

Sinta P. Mulyadefie^{#a}, Joice E. Waani^{#b}, Theo K. Sendow^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^asintaprimlydfie@gmail.com, ^bjoicewaani@yahoo.com, ^ctheosendow@unsrat.ac.id

Abstrak

Perancangan campuran aspal dengan metode kerangka agregat diusulkan untuk meningkatkan titik kontak antar agregat yang sangat berperan dalam memikul beban lalu lintas. Dalam desain campuran pemilihan gradasi agregat dan penentuan kadar aspal akan dilakukan berdasarkan sifat volumetrik campuran sehingga variabel volumetrik menjadi variabel input dalam desain. Gradasi pada agregat kasar dan agregat halus didesain secara terpisah, Agregat kasar didesain menggunakan metode kerangka agregat sedangkan untuk pengujian agregat halus mengikuti Spesifikasi Bina Marga 2018. Pembuatan sampel berdasarkan hasil rancangan proporsi campuran aspal yang didapat setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode kerangka agregat pada persentase agregat kasar sebesar 74,23%, agregat halus 25,77%, dan kadar aspal 6,03%. Hasil karakteristik *Marshall* pada campuran *AC-Base* yang diperoleh nilai stabilitas 1244,9 kg, *flow* 7,35 mm, VMA 20,08%, VIM 6,95% dan VFB 65,37%. Hasil tersebut menunjukkan tidak semua memenuhi persyaratan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018. Setelah dilakukan percobaan dengan menambahkan kadar aspal menjadi 6,53% dan 7,03% hasil Stabilitas dan Flow yang diperoleh tidak memenuhi persyaratan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018. Hal ini menyebabkan metode desain kerangka agregat yang diusulkan untuk merancang campuran memiliki kelemahan terhadap sifat campuran dan belum mencapai hasil dan tujuan yang diharapkan sehingga perlu diadakan suatu penelitian lanjutan terhadap perbaikan desain metode kerangka agregat

Kata kunci: Kerangka agregat, AC-Base, pengujian Marshall

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Campuran aspal pada permukaan perkerasan jalan, mengalami penurunan kinerja karena pengaruh beban lalu lintas dan lingkungan alam seperti, retak melintang dan rutting (Li et.al, 2019). Tekanan dari beban berlebih dapat menurunkan kinerja perkerasan dan mempersingkat masa pakai, sehingga merancang campuran aspal dengan kinerja yang memuaskan adalah sangat penting.

Zhao et.al, (2012) mengembangkan desain gradasi kerangka agregat yaitu suatu desain yang terdiri dari agregat kasar yang digunakan untuk membangun kerangka sebagai tulangan penopang sementara rongga antara agregat kasar diisi dengan agregat halus dan rongga antara agregat halus diisi oleh bahan pengikat yaitu aspal. Untuk model desain gradasi ini, nilai parameter volume yang sesuai menjadi faktor untuk memastikan pembentukan struktur kerangka dalam campuran aspal. asumsi utama dari metode ini yaitu peningkatan jumlah kontak antara agregat kasar akan membantu meningkatkan stabilitas dari campuran. Secara teoritis dan eksperimen terbukti bahwa peningkatan jumlah kontak antara agregat kasar yang dikelilingi dengan agregat halus adalah kunci utama untuk mengurangi tegangan yang terjadi dan meningkatkan stabilitas kerangka agregat.

Campuran Asphalt Concrete-Base (AC-Base) adalah campuran perkerasan yang diaplikasikan sebagai lapis permukaan yang terletak dibawah lapisan antara dan diatas lapisan pondasi atas dimana lapisan AC-Base merupakan lapis struktural. Lapis ini digunakan pada jalan-jalan yang memikul beban lalu lintas sehingga karakteristik terpenting didalam campuran ini adalah stabilitas. Dalam penelitian ini, akan dilakukan perancangan campuran AC-Base yaitu dengan menggunakan persamaan-persamaan yang dikembangkan dalam metode kerangka agregat untuk memfasilitasi pembentukan kerangka agregat, mengetahui karakteristik serta kinerja campuran dalam memikul beban lalu-lintas, dan tahan terhadap pengaruh lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

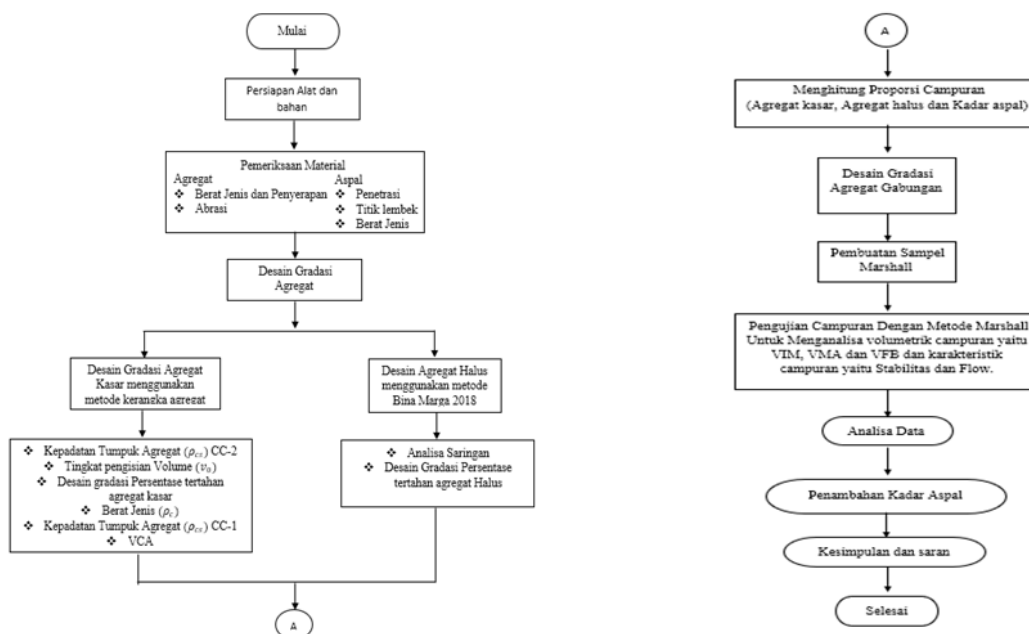
Berdasarkan latar belakang yang ada, maka rumusan masalah dalam penelitian ini Bagaimana merancang gradasi campuran AC-Base dengan menggunakan metode kerangka dan apakah karakteristik Marshall yang desain menggunakan metode kerangka agregat memenuhi persyaratan berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana merancang gradasi campuran AC-Base dengan menggunakan metode kerangka agregat dan untuk mengetahui karakteristik campuran AC-Base yang dirancang menggunakan metode kerangka agregat apakah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018.

2. Metode

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu experimental yang dilakukan dengan menggunakan kegiatan percobaan untuk mendapatkan data. Percobaan yang dilakukan yaitu untuk mendesain persamaan dan untuk mengetahui karakteristik yang dihasilkan pada campuran. Data dalam penelitian ini didapat lewat percobaan yang dilakukan di Laboratorium berdasarkan Prosedur Kerangka Agregat dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Gambar 1. Bagan Alir

3. Kajian Literatur

3.1. Metode Desain Kerangka Agregat Berdasarkan Metode V-S

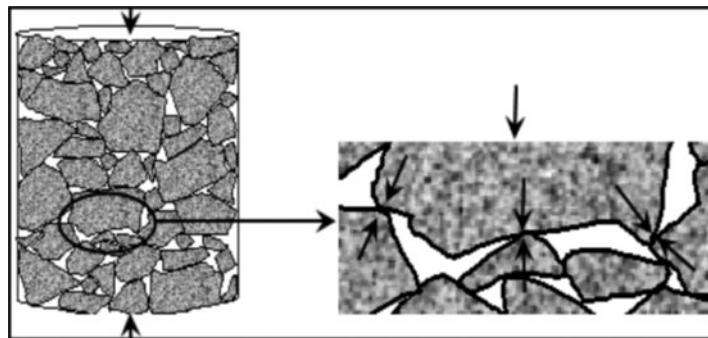
Kerangka agregat adalah susunan dan pengepakan partikel agregat dalam campuran seperti kerangka struktural dimana agregat membentuk tulangan penopang. Desain gradasi dengan

metode kerangka agregat yaitu, desain gradasi agregat yang bertujuan untuk membentuk kerangka sebagai tulangan penopang dimana rongga diantara agregat kasar diisi oleh agregat halus dan rongga antara agregat halus diisi oleh bahan pengikat yaitu aspal.

Beberapa penelitian telah dilakukan berkaitan dengan efek gradasi terhadap kinerja campuran aspal seperti antara lain yang dilakukan oleh Robert D. Bailey (1789) yang mengusulkan konsep kerangka agregat dimana campuran aspal dengan desain kerangka agregat yang kuat memiliki resistensi yang tinggi terhadap *rutting*. Zhang *et.al.*, (1995) mengembangkan metode pengisian rongga agregat kasar (CAVF) dimana desain persamaan dibuat dengan maksud untuk membuat agregat membentuk kerangka. Huang (2001) mengembangkan metode desain gradasi yang berfokus pada kekompakan maksimum agregat.

Roque *et.al.*, (2006) melakukan pendekatan konseptual dan analitis tentang pengaruh gradasi terhadap kinerja campuran aspal dengan mengusulkan model analitis untuk mengevaluasi struktur agregat kasar dalam campuran berdasarkan prinsip dasar pengepakan partikel. Kandhal dan Kennedy (2009) mengatakan bahwa gradasi dianggap sebagai faktor kunci ketahanan campuran terhadap deformasi permanen. Demikian juga Guarin *et.al.*, (2013) menggunakan konsep *Dominant Aggregate Size Range* (DASR) mengenai perubahan persentase bahan pengikat, ukuran agregat yang lebih kecil dari DASR, serta kandungan rongga udara terhadap kinerja campuran aspal yakni *rutting* dan retak.

Tashman *et.al.*, (2007) menyatakan struktur kerangka agregat dipengaruhi oleh morfologi agregat, metode gradasi dan pemadatan. Karakteristik morfologi agregat berupa bentuk butiran, kekakuan dan tekstur permukaan sangat mempengaruhi struktur internal. Golalipour *et.al.*, (2012) konsep terpenting adalah bahwa gradasi memberikan kekuatan struktural terbesar untuk setiap jenis dan kualitas pada agregat. Dengan demikian morfologi agregat, gradasi dan metode pemadatan merupakan faktor penting untuk mempengaruhi sifat campuran aspal dengan membentuk suatu struktur kerangka agregat yang baik. Feng Wang *et.al.*, (2020) juga membahas kerangka agregat merupakan faktor penting yang menentukan distribusi perpindahan beban dan mekanisme kinerja aspal beton yang dipengaruhi oleh struktur agregat.

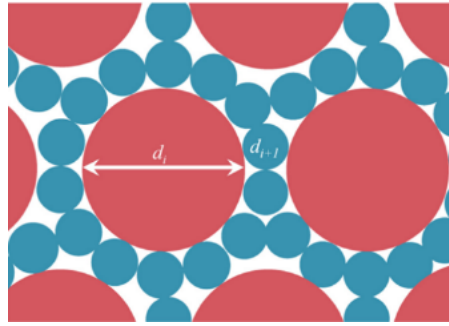


Gambar 2. Transfer Tegangan dalam Kerangka Agregat
(Sumber: *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 40, No. 7, 2012)

Gambar di atas menunjukkan bagaimana tegangan berpindah melalui titik kontak antar agregat dalam susunan kerangka agregat ketika mengalami tekanan dari beban kendaraan. Pada setiap bagian dari kerangka agregat, transfer tegangan terjadi jauh lebih kecil dari luas permukaan penampang melintang agregat karena hanya terdapat tiga titik kontak yang menerima beban sehingga tekanan pada titik kontak mencapai tingkat yang tinggi meskipun bebannya kecil. Oleh karena itu, peningkatan titik kontak antar agregat menjadi bagian yang sangat berperan dalam memikul beban dan untuk maksud inilah metode kerangka agregat dikembangkan.

a. Desain Gradasi Kerangka Agregat Kasar

Zhao *et.al.*, (2012) mengusulkan model desain gradasi kerangka agregat kasar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. dimana agregat yang lebih besar (d_i) dikelilingi sebanyak mungkin oleh agregat yang lebih kecil (d_{i+1}) untuk mendistribusikan tekanan dengan demikian besarnya tegangan yang diterima oleh masing-masing partikel menjadi lebih kecil.



Gambar 3. Ilustrasi Desain Gradasi Kerangka Agregat
(Sumber: *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 40, No. 7, 2012)

Dalam merancang gradasi agregat kasar tingkat pengisian volume (v_0) menjadi faktor utama dalam merancang gradasi pada agregat kasar. Tingkat pengisian volume (v_0) diberikan pada persamaan berikut :

$$V_0 = \frac{\rho_{cs}}{\rho_c}$$

Sebelum menghitung volume terhadap fraksi agregat kasar tingkat pertama, fraksi volume agregat kasar sebelumnya harus dikurangi. Jadi, kadar fraksi volume (V_i^F) yang akan diisi dimasukkan kedalam persamaan berikut :

$$V_i^F = 100 - \sum_{j=1}^{i-1} V_j$$

Selanjutnya tingkat pengisian mutu volume tiap ukuran agregat kasar diberikan pada persamaan berikut :

$$V_i = \frac{v_0}{\left(1 + \frac{d_i + 1}{d_i}\right)^3} V_i^F \times 100$$

Keterangan

d_i : Ukuran Agregat kasar (mm) dari tiap saringan (1,2.)

d_{i+1} : Nilai dari masing-masing agregat kasar

V_i^F : Volume fraksi agregat kasar yang akan diisi %

V_i : Tingkat pengisian mutu volume agregat kasar ke-i (%)

V_0 : Tingkat pengisian volume untuk setiap ukuran agregat%

Dengan memasukan total tingkat pengisian volume tiap ukuran agregat ($\sum V_i$) desain gradasi agregat kasar (persentase tertahan) dirancang sebagai berikut :

$$\text{Persentase tertahan} = \frac{V_i}{\sum V_i} \times 100$$

Untuk mendapatkan berat jenis terhadap desain gradasi kerangka agregat kasar perhitungan diberikan pada persamaan berikut :

$$\rho_c = \frac{100}{\frac{p_{c1}}{\rho_{c1}} + \frac{p_{c2}}{\rho_{c2}} + \dots + \frac{p_{cX}}{\rho_{cX}}}$$

keterangan

p_c : Persen massa agregat kasar pada setiap kelas di semua mineral agregat (%)

ρ_c : Berat jenis agregat kasar pada setiap kelas agregat (gr/cm^3)

b. Kepadatan Tumpuk Agregat Kasar

Uji kepadatan tumpukan agregat kasar digunakan untuk menghitung nilai VCA dan juga V_0 yang menjadi gerbang pertama dalam desain gradasi agregat kasar. Uji kepadatan tumpuk agregat kasar (ρ_{cs}) diukur dalam kondisi padat (CC). Spesimen agregat kasar dibuat dengan cara memasukkan agregat kasar kedalam cetakan Marshall sekaligus, dan menumbuknya dengan menggunakan pemadat Marshall sebanyak 100 kali tumbukan. Kepadatan tumpuk agregat kasar (ρ_{cs}) dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini, dimana volume cetakan Marshall dihitung berdasarkan tinggi (7.62 cm) dan diameter (10,16 cm).

$$\rho_{cs} = \frac{\text{massa agregat kasar}}{\text{volume cetakan}}$$

c. Desain Gradasi Agregat Halus

Dalam metode ini, desain gradasi agregat kasar dan agregat halus didesain secara terpisah, agregat kasar dirancang menggunakan desain kerangka agregat dan agregat halus dilakukan mengikuti standar Bina Marga 2018. Sebagaimana yang dilakukan oleh Zhao et.al, (2012) yang merancang campuran Stone Matrix Asphalt dimana desain agregat kasar mengikuti metode kerangka agregat dan agregat halus menggunakan metode superpave. Dengan mengikuti spesifikasi Bina Marga 2018 dilakukan pengujian analisa saringan terhadap agregat halus dengan tujuan untuk menentukan pembagian atau gradasi ukuran butir (*grain size distribution*). Pemeriksaan gradasi dilakukan dengan pekerjaan pengayakan terhadap bahan agregat halus pembentuk AC-Base dimana agregat yang lolos saringan no.200 maksimum 10%. Metode uji analisis saringan agregat halus berdasarkan SNI ASTM C136-2012 yang dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Persen Tertahan \%} &= \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan} \times 100}{\text{Berat Benda uji}} \\ \text{Persen Lolos \%} &= 100 - \text{Persentase tertahan} \\ \text{Rata - rata Persen Lolos} &= \frac{\text{Persen lolos A} + \text{Persen Lolos B}}{2} \end{aligned}$$

d. Proporsi Campuran Aspal berdasarkan Metode Kerangka Agregat

Selanjutnya dari kedua desain gradasi tersebut digunakan untuk menghitung proporsi campuran aspal termasuk persentase tertahan dari agregat kasar (P_c) dan agregat halus (P_f) serta rasio aspal (P_a) dengan proporsi yang ditentukan pada persamaan berikut :

$$\begin{aligned} P_c + P_f &= 100 \\ \frac{P_f}{\rho_f} &= \frac{P_c}{\rho_{cs}} \left(\frac{\text{VCA} - \text{VMA}}{100} \right) \\ \frac{P_a}{\rho_a} &= \frac{P_c}{\rho_{cs}} \left(\frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{100} \right) \end{aligned}$$

Keterangan

- P_c : Persentase massa agregat kasar dalam total agregat (%)
- ρ_c : Berat jenis agregat kasar (gr/cm^3)
- P_f : Persentase agregat halus dalam total agregat (%)
- ρ_f : Berat jenis agregat halus (gr/cm^3)
- P_a : Kadar aspal (%)
- ρ_a : Berat jenis aspal (gr/cm^3)
- ρ_{cs} : Kepadatan susunan Agregat kasar (*stacking density*) (gr/cm^3)

Nilai VMA dan VIM ditentukan mengikuti spesifikasi Bina Marga 2018. Untuk campuran aspal AC-Base VMA harus lebih besar dari 13% dan VIM minimum 3% - 5% maksimum. VCA Menurut AASHTO R 46-08 (2012) didefinisikan sebagai volume rongga udara yang terbentuk antara partikel-partikel agregat kasar dan disingkat sebagai VCA (*Voids in Coarse Aggregate*) yang diberikan pada persamaan berikut :

$$\text{VCA} = 1 - \left(\frac{\rho_{cs}}{\rho_c} \right) \times 100$$

e. Desain Gradasi Agregat Gabungan Metode Kerangka Agregat

Dalam merancang gradasi agregat gabungan pada metode kerangka agregat, melalui hasil persentase tertahan dari desain gradasi agregat kasar dan hasil persentase tertahan dari gradasi agregat halus, gradasi persentase tertahan terhadap agregat gabungan diberikan pada persamaan berikut :

$$\frac{A}{100} \times B$$

Keterangan

- A : Persentase agregat tertahan dalam desain
- B : Total persentase agregat tertahan dalam campuran

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Pengujian berat jenis dan penyerapan dari agregat kasar dilakukan terhadap setiap ukuran agregat. Sementara untuk agregat halus dilakukan pada fraksi abu batu (ukuran saringan no.8" - 200").

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Berat Jenis (Analisis Data, 2023)

No	Jenis Pengujian	Standart	Hasil
1	Berat Jenis Kasar (Uk.1")	Bulk	2.798
		SSD	AASHTO T85-88; SNI 2.811
		Semu	1969:2016 2.833
		Penyerapan	0.441
2	Berat Jenis Kasar (Uk. 3/4")	Bulk	2.785
		SSD	AASHTO T85-88; SNI 2.797
		Semu	1969:2016 2.819
		Penyerapan	0.425
3	Berat Jenis Kasar (Uk. 1/2")	Bulk	2.756
		SSD	AASHTO T85-88; SNI 2.777
		Semu	1969:2016 2.813
		Penyerapan	0.728
4	Berat Jenis Kasar (Uk. 3/8")	Bulk	2.794
		SSD	AASHTO T85-88; SNI 2.803
		Semu	1969:2016 2.818
		Penyerapan	0.309
5	Berat Jenis Kasar (Uk. 4")	Bulk	3.009
		SSD	AASHTO T85-88; SNI 3.032
		Semu	1969:2016 3.079
		Penyerapan	0.757
6	Berat Jenis Halus	Bulk	2.880
		SSD	AASHTO T85-88; SNI 2.592
		Semu	1970:2016 2.979
	Penyerapan	2.740	

4.2 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar (Abrasi)

Hasil pengujian keausan agregat kasar ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Abrasi (Analisis Data, 2023)

Saringan	Jenis Pengujian	Standart	Syarat	Hasil (%)
1 1/2" - 1"	100 Putaran	AASHTO T96-87; SNI 2417:2008	Maks. 8%	1,66
	500 Putaran		Maks. 40%	1,17
3/4" - 1/2"	100 Putaran		Maks. 8%	4,59
	500 Putaran		Maks. 40%	14,04

4.3 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Hasil pemeriksaan karakteristik aspal ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal (Analisis Data, 2023)

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Penetrasi pada 25°C	SNI 2456 : 2011	67,28	60 -70	0.1 mm
Titik Lembek	SNI 2434 : 2011	48,5	≥ 48	°C
Berat Jenis	SNI 2441 : 2011	1.0453	≥ 1,0	.
Titik Nyala	SNI 2433 : 2011	235	≥ 232	°C
Daktilitas pada 25°C	SNI 2431 : 2011	140	≥ 100	Cm

4.4 Perhitungan Desain Gradasi Agregat Kasar menggunakan Metode Kerangka Agregat

Dalam desain gradasi kerangka agregat kasar, ukuran nominal maksimum agregat kasar untuk lapisan AC-base adalah 25 mm. Untuk ukuran agregat kasar 25 mm, berat jenis yang diperoleh dari hasil pemeriksaan agregat pada Tabel 1 adalah 2.798 g/cm³. Kepadatan tumpuk agregat dalam kondisi padat (CC)-2 yang diperoleh adalah 1.655 g/cm³ berdasarkan nilai rata-rata dari tiga sampel yang ditunjukkan pada Tabel 5. Nilai-nilai ini diperlukan untuk menghitung tingkat pengisian volume (v_0) dalam merancang gradasi agregat kasar dan hasil yang diperoleh yaitu $1.655/2.798 = 59.13\%$.

Contoh perhitungan desain gradasi agregat kasar ukuran saringan 1" (25 mm)

$$\begin{aligned} \frac{d_{i+1}}{d_i} &= \frac{19}{25} \\ &= 0,7600 \\ V_i^F &= 100 \% \\ V_i &= \frac{v_0}{\left(1 + \frac{d_{i+1}}{d_i}\right)^3} V_i^F \\ &= \frac{59,13}{(1 + 0,7600)^3} \times 100 \\ &= 10,85 \% \\ \frac{V_i}{\sum V_i} \times 100 &= \frac{10,85}{53,01} \times 100 \\ &= 20,46 \% \text{ (Persen Tertahan)} \end{aligned}$$

Tabel 4. Desain Gradasi Agregat Kasar (Analisis Data, 2023)

Ukuran Sarigan	1"	¾"	½"	⅜"	#4	#8	Total
Ukuran Agregat	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	
$d_i + 1/d_i$	0.7600	0.6579	0.7600	0.5000	0.4968	/	
$v_0/\%$	59.13%						
$V_i^F/\%$	100	89,15	77,58	69,17	57,05	/	
$V_i/\%$	10,85	11,57	8,42	12,12	10,06	/	53.01
Gradasi (persen tertahan)	20,46	21,82	15,88	22,86	18,98	/	100
Berat Jenis $\rho_c/g/cm^3$	2.825						

4.5 Pengujian Kepadatan Tumpuk Agregat (ρ_{cs}) dan VCA Agregat Kasar

Kepadatan tumpuk agregat kasar dalam kondisi padat pada CA-Marshall didapatkan melalui 2 sampel yaitu kondisi padat CC-1 dan kondisi padat CC-2. Dari kedua kondisi padat ini diperoleh hasil yang berbeda karena dipengaruhi dengan masing-masing persentase didalam desain. Dalam kondisi padat (CC)-1 menunjukkan rata-rata kepadatan susunan agregat kasar (ρ_{cs}) adalah 1.738 g/cm³. Berdasarkan berat jenis ρ_c pada Tabel 4 dan kepadatan susunan agregat kasar (ρ_{cs}) kondisi padat CC-1, diperoleh nilai desain VCA dalam kondisi padat 38,46% yang hasilnya digunakan untuk menghitung proporsi campuran. Selanjutnya pada kondisi padat (CC)-2 menunjukkan rata-rata kepadatan susunan agregat kasar (ρ_{cs}) adalah 1.655 g/cm³ yang diperoleh berdasarkan ukuran nominal maksimum agregat yaitu 25 mm. Hasil pengujian kepadatan tumpuk agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Kepadatan Tumpuk Agregat (Analisis Data, 2023)

	Kepadatan Tumpuk Agregat (ρ_{cs})				
	1	2	3	Rata-Rata	VCA (%)
Kondisi Padat (CC)-1	1.727	1.751	1.737	1.738	38,46
Kondisi Padat (CC)-2	1.659	1.629	1.676	1.655	40,87

4.6 Desain Gradasi Agregat Halus

Untuk menentukan gradasi agregat gabungan maka diperlukan data hasil persentase tertahan dari agregat kasar yang didesain menggunakan metode kerangka agregat pada Tabel 4. dan persentase tertahan agregat halus yang lolos saringan no.4 tetapi tertahan saringan no.200 pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus (Analisis Data, 2023)

Saringan		Akumulatif			
ASTM (Inch)	Metrik (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat Komulatif (gr)	Tertahan (%)	Lolos (%)
#4	4,75	0,0	0,0	0,00	100,00
#8	2,36	301,05	301,1	17,03	82,97
#16	1,18	323,65	624,7	35,33	64,67
#30	0,60	300,90	925,6	52,35	47,65
#50	0,30	294,30	1219,9	68,99	31,01
#100	0,15	290,60	1510,5	85,42	14,58
#200	0,075	119,35	1629,9	92,17	7,83
Pan	<0,075	138,40	1768,3	100,00	0,00

Tabel 7. Desain Gradasi Agregat Halus (Analisis Data, 2023)

Ukuran saringan	#8	#16	#30	#50	#100	#200	PAN
Ukuran agregat/mm	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075	<0,075
Persen lolos	82,97	64,67	47,65	31,01	14,58	7,83	0,00
Persen tertahan	17,03	18,30	17,02	16,64	16,43	6,75	7,83

4.7 Proporsi Campuran Aspal

Pada metode kerangka agregat, perhitungan persentase agregat kasar, agregat halus dan kadar aspal dapat diperoleh ketika VMA dan VIM dipilih. Pada VIM dengan batas minimal 3% - 5% maksimal, dipilih sebesar 4% yaitu nilai yang sesuai untuk kinerja perkerasan aspal. Bila VIM 4% maka VMA harus lebih besar dari 13% maka nilai yang dipilih yaitu 17,5%. Berdasarkan hasil berat jenis pada agregat halus, aspal dan juga kepadatan tumpuk agregat kasar kondisi padat (CC)-1 ($\rho_f, \rho_a, \rho_{cs}$) dan nilai desain parameter volume (VCA CC-1, VMA, VIM), diperoleh hasil proporsi campuran aspal meliputi persentase terhadap agregat kasar, agregat halus dan juga kadar aspal melalui perhitungan metode kerangka agregat yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Proporsi Campuran Aspal (Analisis Data, 2024)

Campuran Aspal	P_C	P_F	P_a
VS Methode	74,23	25,77	6,03

4.8 Hasil Gradasi Agregat Gabungan

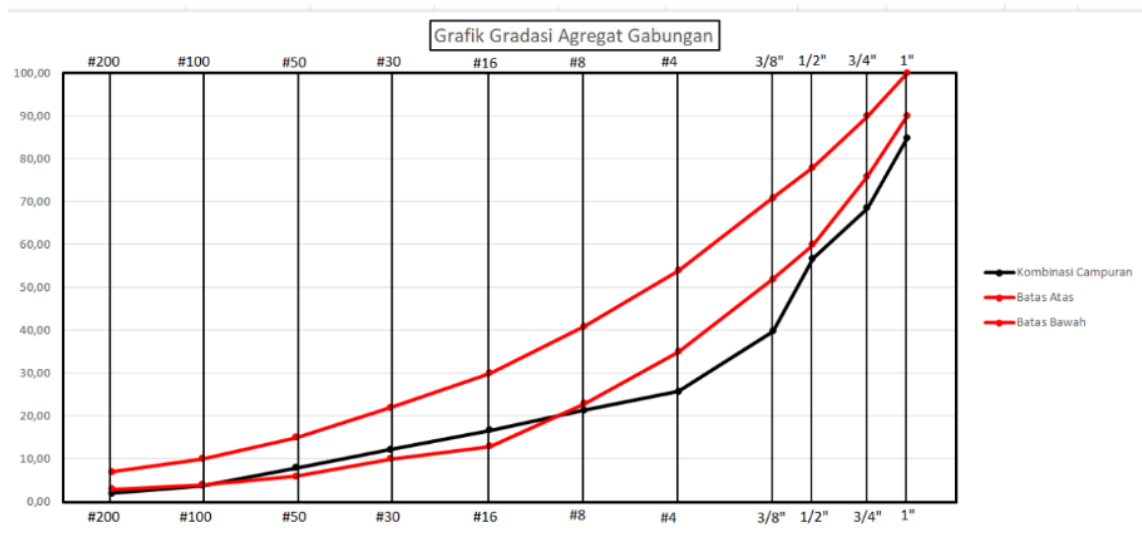
Contoh perhitungan hasil gradasi agregat gabungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Gradasi agregat kasar no.1''} &= \frac{A}{100} \times B \\ &= \frac{20,46}{100} \times 74,23 \\ &= 15,19 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gradasi agregat halus no.8''} &= \frac{A}{100} \times B \\ &= \frac{17,03}{100} \times 25,77 \\ &= 4,38 \% \end{aligned}$$

Tabel 9. Hasil Gradasi Agregat Gabungan (Analisis Data, 2024)

Ukuran saringan	1"	¾"	½"	⅜"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	PAN
Ukuran agregat/mm	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075	<0,075
Persent Tertahan (%)	15,19	16,20	11,78	16,97	14,09	4,39	4,72	4,39	4,29	4,24	1,74	2,02



Gambar 4. Grafik Gradasi Agregat Gabungan

4.9 Hasil Pengujian Marshall Benda Uji

Hasil dari pemeriksaan Marshall Test terhadap volumetrik campuran yaitu VIM, VMA VFB dan karakteristik campuran yaitu Stabilitas dan Flow ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Rangkuman Hasil Pengujian Marshall (Analisis Data, 2023)

Kadar Aspal %	Benda Uji Marshall	Parameter Marshall				
		Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)
Spesifikasi		Min 1800	3 - 6	13	3-5	Min 65
6,03	1	1247,42	7,45	20,09	6,96	65,35
	2	1242,44	7,39	20,10	6,98	65,29
	3	1245,11	7,33	20,06	6,92	65,48
Rata- rata		1244,99	7,39	20,08	6,95	65,38

Stabilitas dipengaruhi oleh gesekan antar butiran agregat (internal friction), penguncian antar butiran agregat (interlocking) dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal (kohesi), disamping itu proses pemadatan, mutu agregat, dan kadar aspal juga berpengaruh. Syarat nilai stabilitas adalah minimum 1800 kg, namun pada saat pengujian hanya mendapatkan nilai rata-rata yang rendah yaitu 1244 kg.

Flow merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu-lintas. Nilai Flow mendapatkan hasil rata-rata yaitu 7,39% yang melebihi dibandingkan nilai maksimum Flow yang disyaratkan yaitu 3-6%, nilai kelelahan yang tinggi dengan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis hingga mudah berubah bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu-lintas yang tinggi dan berat.

Void In Mineral Aggregates (VMA) menunjukkan presentase rongga antar butir agregat, termasuk didalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga yang terisi aspal efektif. Hasil yang diperoleh dalam pengujian, Nilai VMA mendapatkan hasil rata-rata 20,08% dan memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan yaitu minimal 13%. Namun untuk nilai desain yang dipilih 17,5% menunjukan selisih yang besar terhadap hasil yang didapatkan pada saat pengujian.

Nilai VIM (Void in Mix) atau rongga di dalam campuran mendapatkan hasil rata-rata yaitu 6,95% yang melebihi dibandingkan nilai yang dipilih 4,0 % pada saat menghitung proporsi campuran dan juga nilai maksimum yang disyaratkan yaitu 3- 5%. hasil tersebut menunjukan semakin tinggi nilai VIM semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous, hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat dimana air dan udara mudah masuk ke rongga dalam campuran, yang menyebabkan mudah teroksidasi dan berpengaruh terhadap keawetannya.

Nilai VFB menunjukkan persentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal, besarnya VFB menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai VFB maka akan semakin kecil nilai VIM yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak. Oleh karena itu, campuran AC-Base akan semakin awet. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 nilai minimum untuk VFB sebesar 65% dan untuk hasil rata-rata yang diperoleh adalah 65,38%

Hasil pengujian Marshall terhadap benda uji di Laboratorium pada kadar aspal 6,03% yang didapat berdasarkan perhitungan metode kerangka agregat menunjukkan tidak semua variabel marshall memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan untuk campuran Asphalt Concrete – Base. Oleh karena itu berdasarkan permintaan dosen penguji kadar aspal dinaikan menjadi 6,53% dan 7,03% dan hasil dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Rangkuman Hasil Pengujian Marshall (Analisis Data, 2024)

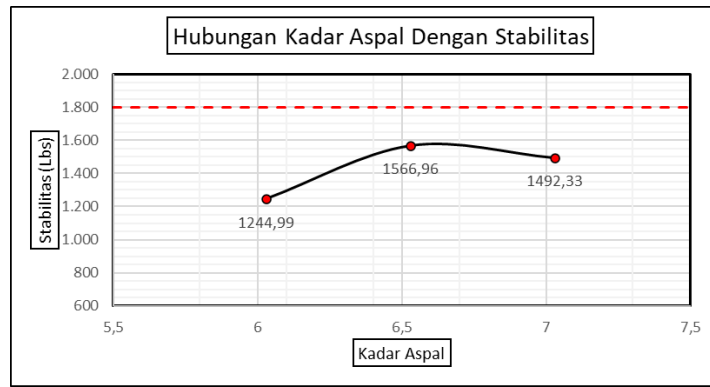
Kadar Aspal %	Benda Uji Marshall	Parameter Marshall				
		Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)
Spesifikasi		Min 1800	3 - 6	13	3-5	Min 65
6,53	1	1566,80	6,81	19,98	5,59	72,03
	2	1567,16	6,89	19,99	5,60	72,01
	3	1566,92	6,85	19,98	5,59	72,02
	Rata-rata	1566,96	6,85	19,98	5,59	72,02
7,03	1	1491,82	7,12	19,92	4,26	78,59
	2	1491,44	7,20	19,91	4,20	78,45
	3	1493,73	7,17	19,93	4,28	78,53
	Rata-rata	1492,33	7,16	19,92	4,28	78,53

4.10 Hubungan Variasi Kadar Aspal Terhadap Volumetrik dan Karakteristik Campuran

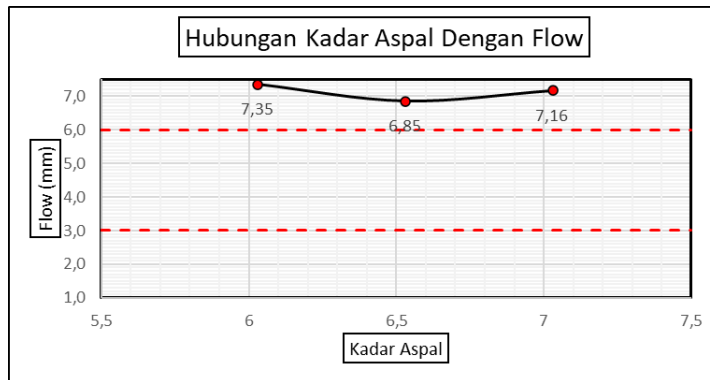
Nilai rata-rata stabilitas campuran AC-Base pada kadar aspal 6,0% ; 6,53% ; 7,03% ; berturut-turut adalah 1244,99 kg; 1566,96 kg; 1492,33 kg. Pada Gambar 4.2, nilai stabilitas mengalami peningkatan pada kadar aspal 6,53% namun pada hasil yang diperoleh belum memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

Nilai rata-rata flow campuran AC-Base pada kadar aspal 6,0% ; 6,53% ; 7,03% ; berturut-turut adalah 7,35 mm; 6,85 mm; 7,16 mm. Pada Gambar 4.3, nilai flow mengalami penurunan pada kadar aspal 6,53% namun pada hasil yang diperoleh belum memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu 3-6%.

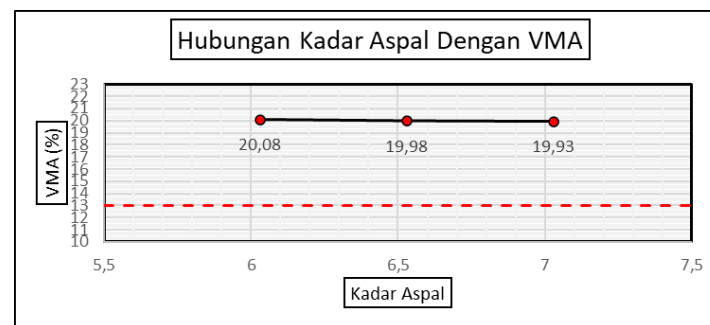
Nilai rata-rata VMA campuran AC-Base pada kadar aspal 6,0% ; 6,53% ; 7,03% ; berturut-turut adalah 20,08%; 19,98%; 19,93%. Dengan adanya penambahan kadar aspal kedalam campuran cenderung akan menurunkan nilai VMA. Hal ini dikarenakan penambahan kadar aspal dapat membuat penurunan nilai VMA karena ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit.



Gambar 5. Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

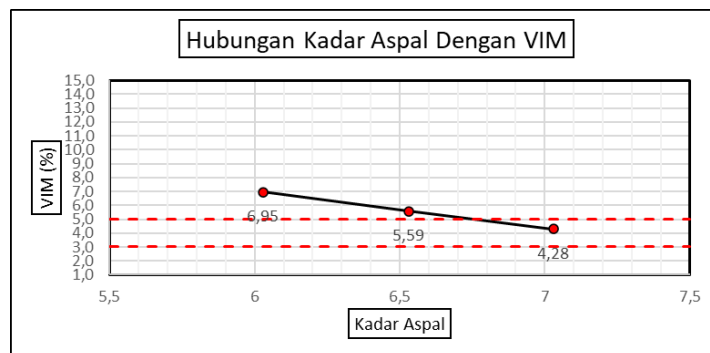


Gambar 6. Hubungan Kadar Aspal dengan Flow



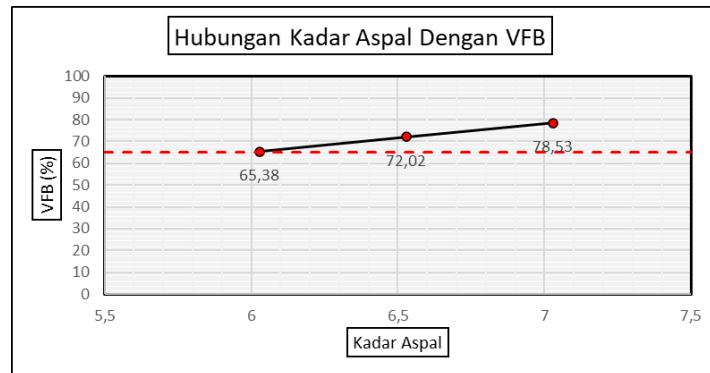
Gambar 7. Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

Nilai VIM (Void in Mix) atau rongga didalam campuran mendapatkan hasil rata-rata yaitu 6,95%; 5,59%; 4,28%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal pada campuran, nilai VIM cenderung akan mengalami penurunan.



Gambar 8. Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 nilai minimum untuk VFB sebesar 65% dan untuk hasil rata-rata yang diperoleh adalah 65,38% ; 72,02% ; 78,53%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar aspal pada campuran, nilai VFB mengalami peningkatan.



Gambar 9. Hubungan Kadar Aspal dengan VFB

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilaksanakan pada campuran perkerasan AC-Base dengan menggunakan metode kerangka maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam merancang gradasi campuran AC-Base dengan metode kerangka agregat, kepadatan tumpuk agregat digunakan untuk menghitung nilai VCA dan juga tingkat pengisian volume (V_0) yang menjadi gerbang pertama dalam desain gradasi agregat. Kemudian, nilai dari tiap ukuran agregat kasar, volume fraksi agregat kasar yang akan diisi (V_i^F) dan tingkat pengisian mutu volume agregat kasar ke-1 dan selanjutnya (V_i) yang dimana nilai-nilai tersebut dihitung menggunakan persamaan yang telah didesain untuk menghasilkan persentase tertahan pada gradasi agregat kasar. Selanjutnya, Proporsi campuran aspal yang didesain menggunakan metode kerangka agregat, pada perhitungan persentase agregat kasar, agregat halus dan kadar aspal dapat diperoleh berdasarkan hasil perhitungan yang didesain dengan memasukkan hasil berat jenis pada agregat halus, aspal dan juga kepadatan tumpuk agregat kasar kondisi padat (CC)-1 ($\rho_f, \rho_a, \rho_{cs}$) dan nilai desain parameter volume (VCA CC-1, VMA, VIM).
2. karakteristik yang didapatkan setelah dilakukan pengujian Marshall pada variasi kadar 6,03% diperoleh nilai stabilitas 1244,99kg dengan nilai minimum stabilitas 1800kg pada persyaratan Bina Marga tahun 2018. Nilai flow diperoleh sebesar 7,35 mm dengan batas persyaratan antara 3-6 mm, Nilai VMA diperoleh sebesar 20,08 dengan nilai minimum VMA yaitu 13%. Nilai VIM yang diperoleh 6,95% dengan syarat nilai VIM antara 3%-5%. Untuk nilai VFB yang diperoleh sebesar 65,38% dengan nilai minimum 65%. Hasil pengujian Marshall terhadap benda uji di Laboratorium pada kadar aspal 6,03% menunjukkan tidak semua variabel marshall memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan untuk campuran Asphalt Concrete – Base. Oleh karena itu kadar aspal dinaikan menjadi 6,53% dan 7,03%. Pada kadar 6,53% diperoleh nilai stabilitas 1566,96kg, flow 6,85mm, VMA 19,98%, VIM 5,59, VFB 72,02%. Selanjutnya, pada kadar 7,03% diperoleh nilai stabilitas 1492,33 kg, flow 7,16 mm VMA 19,93%, VIM 4,28%, VFB 78,53%. Dari data-data tersebut dapat disimpulkan bahwa perencanaan campuran dengan dibuatnya penambahan kadar aspal 6,53%; dan 7,03% belum diperoleh nilai Parameter Marshall yang menjadi persyaratan standar pengujian lapisan perkerasan dalam penelitian karena hasil yang diperoleh tidak semua memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Hal ini menyebabkan metode desain kerangka agregat yang diusulkan untuk merancang campuran lapis AC-Base menunjukkan kelemahan terhadap sifat campuran, dan belum mencapai hasil dan tujuan yang diharapkan dalam memfasilitasi pembentukan kerangka agregat yang kuat untuk mendapatkan sifat yang diinginkan dari kinerja campuran AC-Base.

5.2 Saran

Metode perancangan campuran pada lapis AC-Base dianjurkan mengikuti spesifikasi Bina Marga 2018 dikarenakan hasil yang didapatkan setelah penelitian terhadap metode kerangka agregat menunjukkan kelemahan terhadap gradasi dan sifat campuran. Perancangan campuran di Indonesia juga pada umumnya mengikuti spesifikasi Bina Marga. Dalam penelitian ini perlu diadakan suatu penelitian lanjutan desain gradasi kerangka agregat, seperti penelitian yang dilakukan oleh Jingli *et.al*, (2019) terhadap perbaikan desain metode kerangka antara lain :

1. Kepadatan tumpuk agregat kasar kondisi padat (ρ_{cs}) harus diukur menggunakan alat *Dry Rooded Condition* (DRC) bukan CA-Marshall dikarenakan dapat meningkatkan persentase massa agregat halus dan mengurangi besarnya selisih terhadap VMA dan VIM antara nilai desain dan hasil yang didapatkan setelah pengujian.
2. Persamaan desain baru terhadap perhitungan proporsi campuran aspal yang diusulkan lebih efektif
3. Campuran aspal yang dirancang pada perbaikan metode kerangka agregat memiliki stabilitas yang baik terhadap suhu yang tinggi, ketahanan terhadap kelembapan yang baik, dan kinerja pada suhu rendah yang dapat diterima.

Referensi

Bina Marga Spesifikasi 2018

Feng, Wang. Et al, (2020), Effect of aggregate morphologies and compaction methods on the skeleton structures in asphalt mixtures Volume 263, (2020) Construction and Building Materials.

Golalipour A, Jamshidi E, Niazi Y, Afsharikia Z and Khadem M (2012) Effect of aggregate gradation on rutting of asphalt pavements Procedia-Social and Behavioral Sciences 53 440-9.

Guarin, R. Roque, S. Kim, O. Sirin, Disruption factor of asphalt mixtures, Int. J.Pavement Eng. 14 (2013) 472–485.

Huang, X. M., Pan, G. H., and Zhao, Y. L., Civil Engineering Materials, Southeast University Press, Nanjing, p. 156, 2001

Jing Li a , Min Shang b , Yuanyuan Pan a , Guoqiang Liu a ,” Laboratory improvement and field assessment of Volumetric design method based on multi-point Supported skeleton for asphalt mixtures (V-S method)”2019

J. Li, G. Liu, T. Yang, et al., Research on relationships among different distress types of asphalt pavements with semi-rigid bases in china using association rules mining: a statistical point of view, Adv. Civ. Eng. (2019)

R. Roque, B. Birgisson, S. Kim, A. Guarin, “Development of mix design guidelines for improved performance of asphalt mixtures,” Florida Department of Transportation, Final Report, UF Project no. 49104554032-12, 2006.

Tashman, L. Wang, S. Thyagarajan, Microstructure characterization for modeling HMA behaviour using imaging technology, Road Mater. Pavement Des. 8 (2) (2007) 207–238

Vavrik, W. R., Pine, W. J., and Carpenter, S. H., “Aggregate Blending for Asphalt Mix Design Bailey Method,” Transport. Res. Rec., Vol. 1789, 2001, pp. 146–153.

Zhang, X. N., Guo, Z. X., & Wu, K. (1995). Volume method of bituminous mixture design. J. Harbin Univ. Archit. Eng, 28, 28-36.

Zhao, T. Xu, X. Huang, et al., Gradation design of the aggregate skeleton in asphalt mixture, J. Test. Eval. 40 (7) (2012) 1071–1076.