PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH KARET BAN TERHADAP KUAT TEKAN MARSHALL PADA CAMPURAN BETON ASPAL

Tiara Kusuma Rini[1], Wahyudi Pratama[1], Anis Amarwati[2]

Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Borobudur

ABSTRAKSI

Kinerja campuran agregat aspal untuk konstruksi perkerasan jalan dapat ditingkatkan dengan cara memodifikasi campuran aspal sehingga didapatkan perubahan sifat campuran aspal, khususnya pada penetrasi dan titik lembeknya. Dengan penambahan bahan limbah karet ban diharapkan bisa mengurangi kepekaan aspal terhadap temperatur dan keelastisannya. Penelitian dilakukan dengan jalan membandingkan beberapa campuran aspal yang menggunakan beberapa variasi kadar karet ban pada aspal (0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%).Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh limbah karet ban sebagai bahan aditif terhadap sifat reologi aspal. Pengujian sifat reologi yang dilakukan pada studi ini adalah penetrasi, titik lembek, berat jenis, daktilitas, viskositas, dan marshall test.

Modifikasi aspal dengan limbah karet ban berpengaruh positif, hal ini dapat dilihat pada nilai stabilitas *Marshall*. Terlihat bahwa ada kenaikan nilai campuran aspal + limbah karet ban 4% yaitu menjadi 1116.549 kg/mm. Sehingga campuran aspal tersebut dapat di gunakan untuk lapis perkerasan jalan berat.

Kata kunci : limbah karet ban, Marshall, aspal beton.

PENDAHULUAN

Kondisi jalan yang baik terjadi karena ditunjang dari perencanaan perkerasan yang sesuai dengan standar yang *telah* ditetapkan. Perkerasan jalan di Indonesia harus dapat tahan terhadap cuaca dengan suhu dan curah hujan yang tinggi. Perkerasan jalan di Indonesia pada saat ini umumnya menggunakan jenis perkerasan kaku dan perkerasan fleksibel. Perkerasan fleksibel berupa perkerasan dengan campuran aspal. Perkerasan fleksibel pada umumnya memberikan layanan yang nyaman, lebih cepat dibuka untuk lalulintas dan tidak menimbulkan suara gesekan antara roda dan perkerasan.

Dalam beberapa kasus yang terjadi, banyak konstruksi jalan yang mengalami masa kerusakan dalam masa pelayanan tertentu, padahal tujuan akhir adalah tersedianya jalan dengan standar baik sesuai dengan fungsinya. Untuk mencapai tujuan ini, salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan umur pelayanan

[1] Alumni Fakultas Teknik Universitas Borobudur, Jakarta
[2] Dosen Fakultas Teknik Universitas Borobudur, Jakarta

adalah dengan meningkatkan fungsi aspal sebagai bahan pengikat dengan menggunakan bahan tambah / *aditif*. Dalam hal ini dilakukan percobaan denagn menggunakan limbah karet ban yang tidak terpakai lagi.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

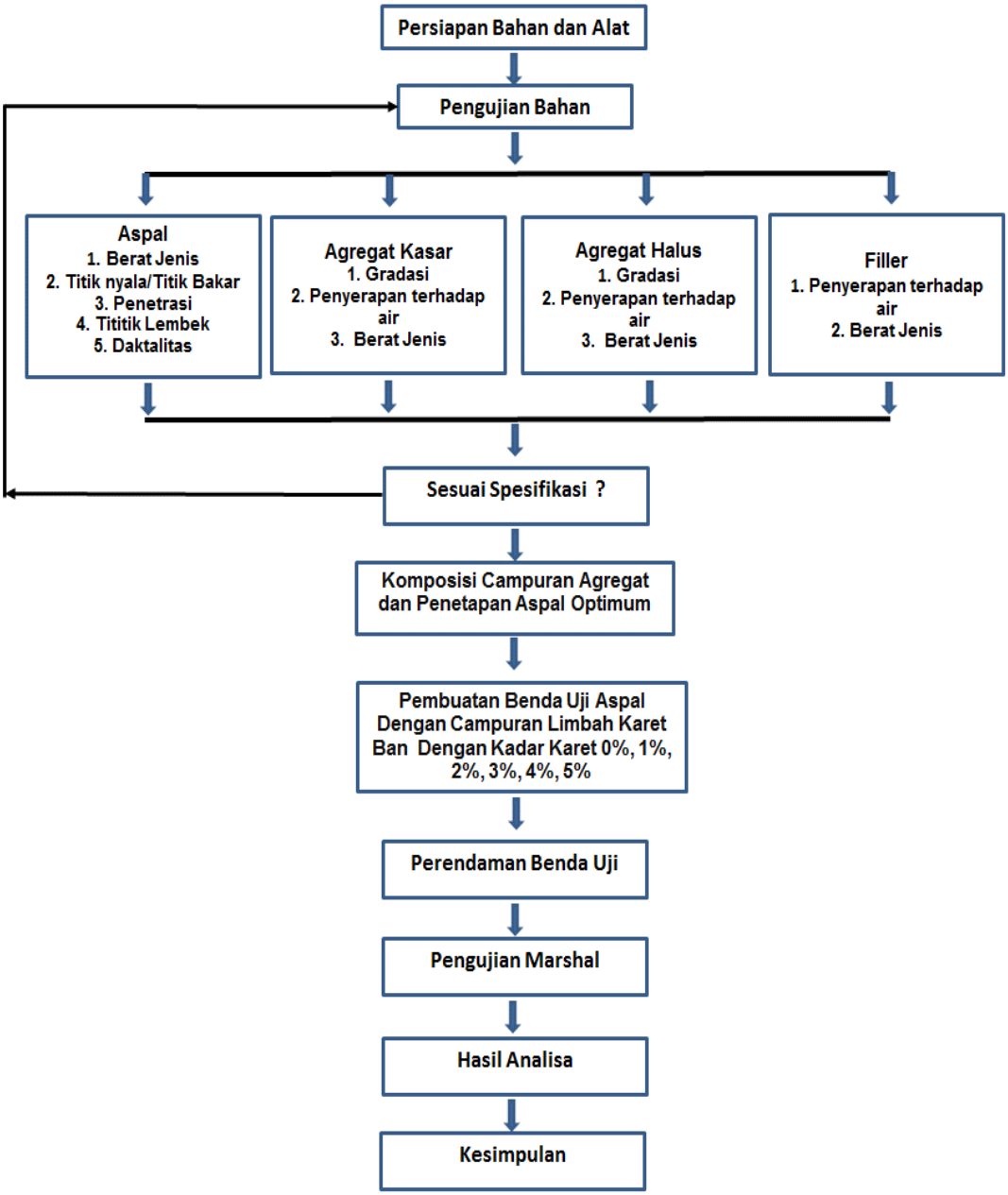
Aspal beton adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan tanpa bahan tambahan. Lapisan aspal beton merupakan jenis tertinggi dari perkerasan yang merupakan campuran dari bitumen dengan agregat bergradasi menerus dan cocok untuk jalan yang banyak dilalui kendaraan berat.. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampuran umumnya antara 145° - 155° C, sehingga disebut aspal beton campuran panas campuran ini dikenal juga dengan nama *hotmix*.

Menurut *Mc* Quillen *and Hicks*, (1987), dibandingkan aspal konvensional, karet memiliki kelebihan yaitu memiliki viskositas yang lebih tinggi pada suhu 60°C, lebih tahan lama dan mempunyai permukaan yang lebih elastis. Adapun tujuan dari bahan tambah adalah untuk dapat mengurangi *reflective cracking* pada *overlay*, mengurangi biaya pemeliharaan, meningkatkan ketahanan terhadap *cracking* dan *rutting* pada perkerasan baru, meningkatkan *skid resistance* dan umur perkerasan, serta mengurangi tingkat kebisingan. Berdasarkan hasil penelitian Sugiyanto (2008) penggantian agregat dengan serbuk ban bekas mampu menambah ketahanan campuran aspal terhadap air, sehingga dapat mengurangi kerusakan jalan.

Limbah karet ban dipakai sebagai bahan tambah (aditif) karena limbah karet ban yang sangat elastis dan mudah didapatkan disekitar kita. Pada penelitian ini kadar bahan tambah (aditif) sebesar 0%,1%,2%,3%,4% dan 5% dari berat total campuran. Prosentase ini mengacu kepada penelitian Vebi Permata Sari yang melakukan penelitian pada Karakteristik Marshall Campuran Aspal dengan Bahan Aditif Plastik kadar 1 – 5 %.

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah penelitian dilakukan dengan urutan sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Langkah Penelitian

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan secara bertahap yaitu terdiri atas pengujian agregat kasar, Agregat halus dan *filler*. Kemudian dilanjutkan pengujian terhadap campuran yaitu uji Marshall. Terhadap agregat diuji saringan, pemeriksaan berat jenis, pengujian abrasi dengan mesin loss angles dan penyerapan air. untuk pengujian aspal murni Pertamina pen 60/80 pengujian berat jenis, titik nyala, penetrasi, titik lembek dan daktilitas, dimana dari pengujian Marshall didapatkan dari hasil komponen – komponen Marshall yaitu : stabilitas, *Flow, Void in The Mineral Agregat / VMA*, rongga didalam campuran (*Void in The Compavted Mixturel/ VIM*), rongga udara

yang berisi aspal (*Voids Filled With Bitumen / VFB*), hasil bagi *Marshall Quotienti* (*MQ*

Pengujian Agregat

a. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar untuk perencanaan ini adalah agregat yang lolos saringan 3/4" dan bertahan diatas saringan 2,36mm atau saringan no. 8. Agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri dari batu pecah dan kerikil pecah ukuran - ukuran nominal.

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui dan menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat kasar (batu pecah/koral). Butiran gradasi agregat kasar tersebut ditentukan dari spesifikasi saringan yang digunakan. Sedangkan menurut SNI (1990,1991) dan sukirman (2003). ketentuan pengujian bahan agregat kasar dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

b. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus dari masing - masing sumber harus terdiri atas pasir alam atau hasil pecahan batu yang lolos saringan nomor 8 dan tertahan diatas saringan nomor 200. Agregat halus hasil pemecahan dan pasir alam harus ditimbun dalam cadangan terpisah dari agregat kasar diatas serta dilindungi terhadap hujan dan pengaruh air. Material tersebut harus merupakan bahan bersih, keras dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui dan menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat kasar (batu pecah/koral). Butiran gradasi agregat kasar tersebut ditentukan dari spesifikasi saringan yang digunakan. Menurut SNI (1990), AASHTO (1974)

c. Filler

Filler atau bahan pengisi harus lolos saringan no. 200. Sebaiknya filler juga harus bebas dari semua bahan yang tidak di kehendaki. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan - gumpalan. Bahan pengisi yang diuji pada penelitian ini adalah semen merek Tiga Roda dengan berat jenis 3,11 gr/cc. menurut SNI (1994), AASHTO (1981)

Pengujian Aspal

Metode penelitian atau pengujian aspal sesuai spesifikasi yang mengacu pada SNI (1991) dan Sukirman (2003) dengan ketentuan pada tabel dibawah ini.

Tabel 01. Spesifikasi Pengujian Aspal

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min	Maks
	Aspal				
1	Berat Jenis	PA 03776	gr/cc	1	-
2	Titik Nyala	SNI 06 - 2433 - 1991	°C	200	-
3	Penetrasi	SNI 06 - 2456 - 1991	0,1mm	60	80

4	Titik Lembek	SNI 06 - 2434 - 1991	°C	46	54
5	Daktilitas	SNI 06 - 2432 - 1991	cm	100	-

d. **Pengujian Marshall**

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur dan menentukan ketahanan (kekuatan) suatu silinder sample dari hasil campuran perkerasan aspal dengan cara menurunkan elastis metode marshall. Metode ini untuk mendapatkan campuran aspal semen.

Prinsip dasar dari metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelehan (flow), serta analisis kepadatan (density) dan pori dari campuran padat yang berbentuk. Dalam hal ini benda uji briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran yang telah didapat dari hasil uji gradasi, sesuai spesifikasi campuran. Pengujian marshall untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (flow) mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T245-90

HASIL PENELITIAN

Pemeriksaan Aspal

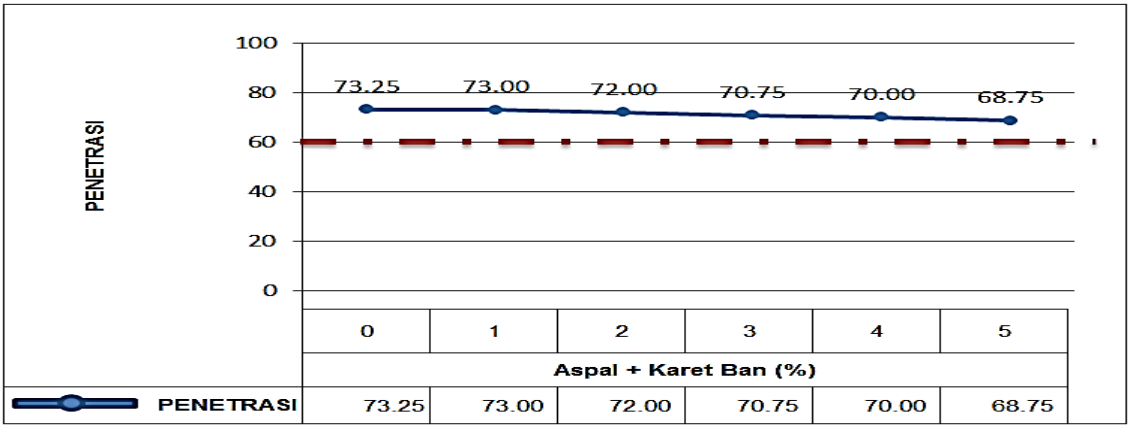
Bahan yang digunakan untuk campuran beton aspal pada penelitian ini terdiri dari aspal 60/80, agregat kasar (split), agregat halus (pasir) dan filler (semen tiga roda). Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap aspal pertamina pen 60/80 ditambah limbah karet ban, diperoleh hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.1. dengan menggunakan spesifikasi Revisi SNI 03 -1737 - 1989 dan data selengkapnya dapat dilihat pada tabel ini.

Tabel 02. Persyaratan Hasil Pemeriksaan Aspal

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat	
		Min	Maks
1	Penetrasi 25°C	60	80
2	Titik Lembek	46	58
3	Titik Nyala & Titik Bakar	≥ 200	-
4	Daktilitas	≥ 100	-
5	Berat Jenis Aspal	≥ 1	-

a. Pengujian Penetrasi

Hasil pengujian penetrasi aspal + limbah karet ban dengan kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5 %m telah memenuhi spesifikasi persyaratan revisi SNI 03 - 1737 - 1989 yaitu nilai penetrasi minimal 60 dan maksimal 80 ,

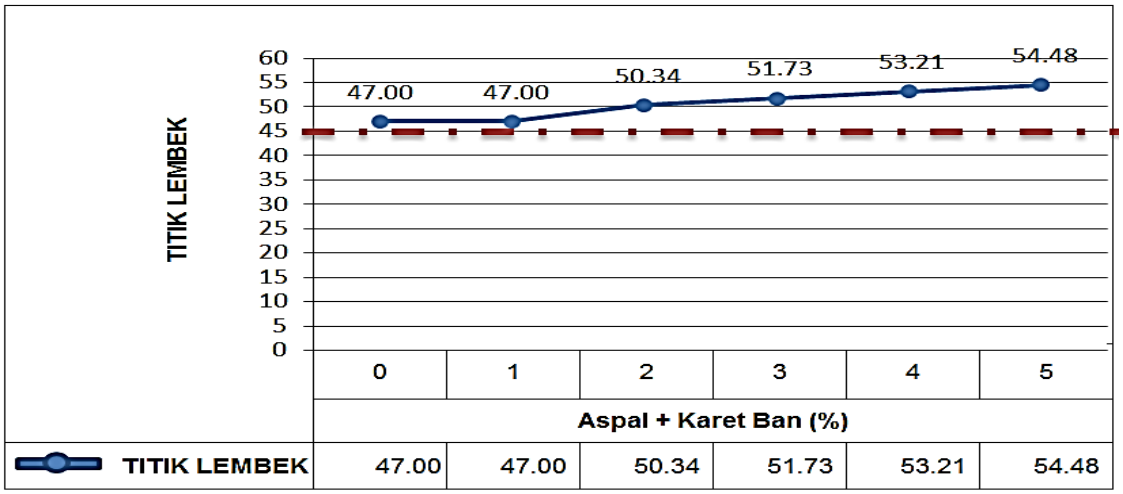


Gambar 02. Grafik Penetrasi

Berdasarkan gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa pada setiap penambahan kadar limbah karet ban yaitu 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%, nilai penetrasi mengalami penurunan. Sehingga dapat disimpulkan semakin banyak kadar limbah karet ban yang ditambahkan kedalam aspal, maka aspal menjadi semakin keras sehingga penetrasi menurun.

b. Pengujian Titik Lembek Aspal

Hasil pengujian titik lembek untuk aspal + limbah karet ban dengan kadar 0% , 1%, 2%, 3%, 4 %, 5 % memenuhi persyaratan revisi SNI 03 - 1737 - 1989 yaitu nilai titik lembek minimal 46°C dan maksimal 58°C, nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini.

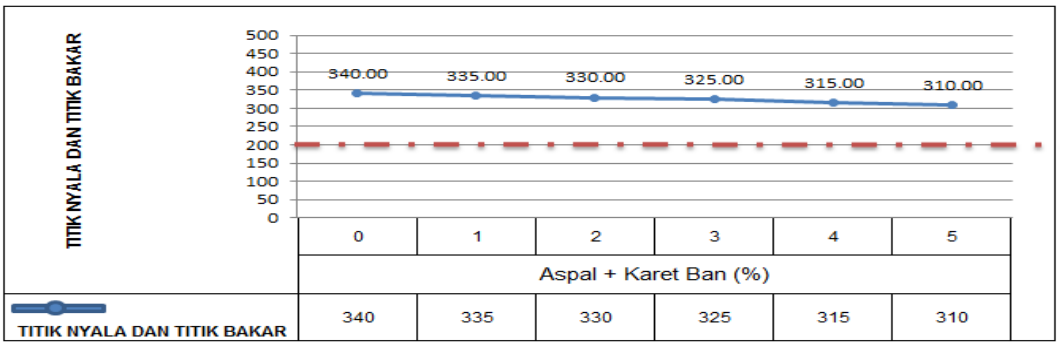


Gambar 03. Grafik Titik Lembek

Berdasarkan gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa pada setiap penambahan kadar limbah karet ban yaitu 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%, nilai titik lembek mengalami kenaikan. Sehingga dapat disimpulkan semakin banyak kadar limbah karet ban yang ditambahkan kedalam aspal, maka aspal menjadi semakin lembek sehingga titik lembek naik.

c. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Hasil pengujian titik nyala dan titik bakar untuk aspal + limbah karet ban dengan kadar 0% , 1%,, 2%, 3%, 4%, 5% telah memenuhi spesifikasi persyaratan revisi SNI 03 - 1737 - 1989 yaitu nilai titik bakar minimal ≥ 200°C, nilai tersebut dapat dilihat pada dibawah ini

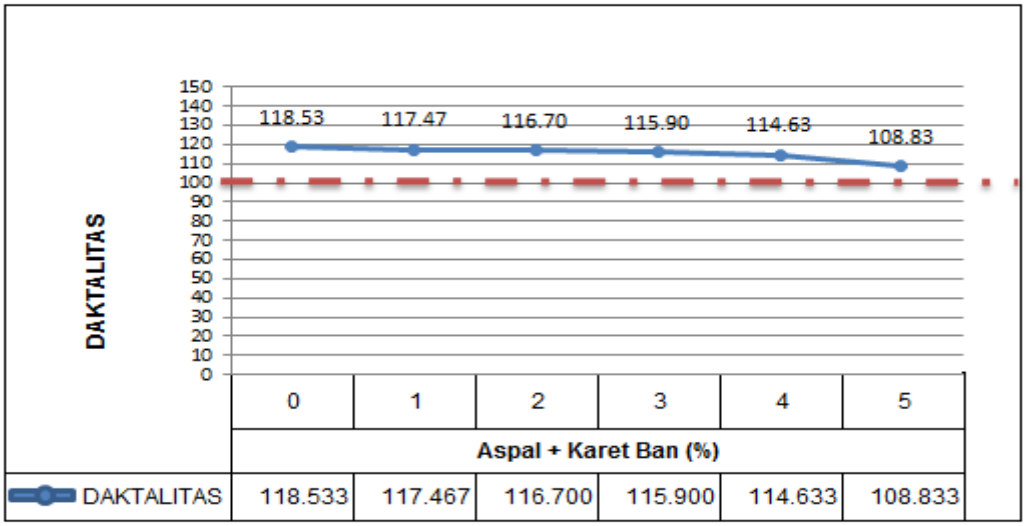


Gambar 04. Grafik Titik Nyala dan Titik Bakar

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa pada setiap penambahan kadar limbah karet ban yaitu 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% suhu titik nyala dan titik bakar mengalami penurunan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kadar limbah karet ban yang ditambahkan kedalam campuran aspal, maka aspal akan menjadi semakin cepat terbakar, tetapi masih memenuhi syarat .

d. Pengujian Daktilitas Aspal

Hasil pengujian daktilitas untuk aspal + limbah karet ban dengan kadar 0 %, 1%,2%, 3%, 4%, 5% telah memenuhi spesifikasi persyaratan revisi SNI 03 - 1737 - 1989 yaitu dengan nilai daktilitas ≥ 100cm. Dapat dilihat gambar dibawah ini.



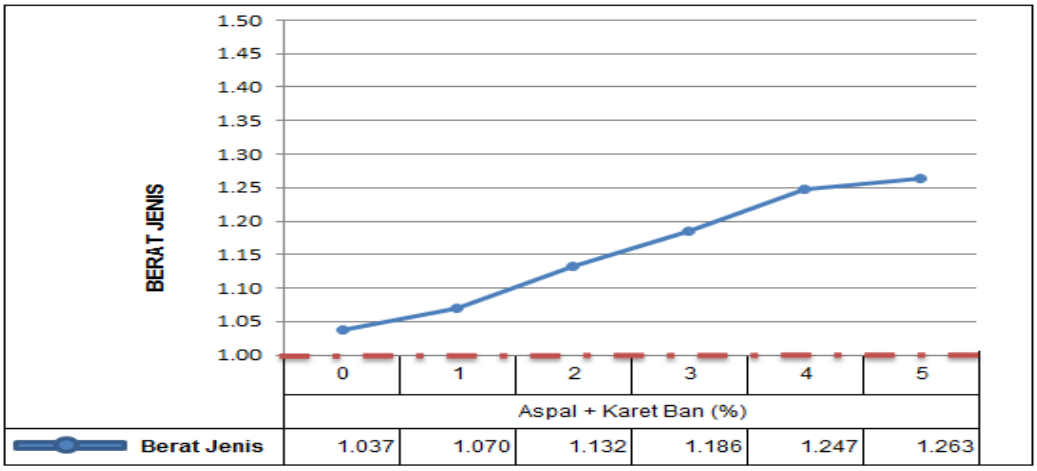
Gambar 05.. Grafik Daktilitas

Berdasarkan gambar 5 diatas dapat dilihat bahwa pada setiap penambahan kadar limbah karet ban yaitu 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% daktilitas pada aspal mengalami penurunan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kadar

limbah karet ban yang ditambahkan kedalam campuran aspal, maka aspal akan menjadi semakin cepat mengalami daktalitas pada saat penarikan. Namun sesuai dengan ketentuan Bina Marga yang digunakan, bahwa apabila aspal mengalami daktalitas > 100 cm, maka aspal dinyatakan baik dapat digunakan untuk penelitian.

e. Pengujian Berat Jenis Aspal

Hasil pengujian berat jenis aspal + limbah karet ban dengan kadar 0% , 1%, 2 %, 3%, 4 %, 5%, telah memenuhi spesifikasi persyaratan revisi SNI 03 - 1737 - 1989 dengan nilai berat jenis > 1 gr/cc.



Gambar 06. Grafik Berat Jenis

Berdasarkan gambar 6 diatas, maka dapat dilihat bahwa setiap penambahan kadar limbah karet ban yaitu 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Berat jenis pada aspal mengalami peningkatan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kadar limbah karet ban yang ditambahkan kedalam campuran aspal, maka berat jenis akan semakin bertambah.

Pemeriksaan Agregat

Hasil pengujian terhadap agregat kasar, agregat halus dan filler dapat dilihat pada tabel 4.32. Berdasarkan spesifikasi revisi SNI 03 - 1737 - 1989 data selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 03. Tabel Persyaratan Agregat Kasar, Agregat Halus dan Filler

No	Pengujian	Metoda	Syarat
Agregat Kasar			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	≤ 3 %
2	Berat jenis *bulk*	SNI 03-1070-1990	≥ 2.5 gr/cc
3	Berat jenis semu	SNI 03-1969-1990	-
4	Berat jenis effektif	SNI 03-1969-1990	-
5	Keausan / *Los Angeles Abration Test*	SNI 03-2417-1991	≤ 40 %
6	Kepekaan agregat terhadap aspal	SNI 06-2439-1991	≥ 95%
7	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D-4791	Maks 10 %

No	Pengujian	Metoda	Syarat
Agregat Kasar			
Agregat Halus			
1	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	≤ 3 %
2	Berat jenis bulk	SNI 03-1970-1990	≥ 2.5 gr/cc
3	Berat jenis semu	SNI 03-1970-1990	-
4	Berat jenis effektif	SNI 03-1970-1990	-
5	*Sand equivalent*	SNI-03-4428-1997	≥ 50 %
Filler			
1	Berat jenis	SNI 15-2531-991	≥ 1 gr/cc

a. Agregat Kasar

Tabel 04. Hasil dari pengujian agregat kasar didapatkan

Tempratur : 30°C Air : 31°C, Oven : 105°C			**Kelembapan : 93 %**	
Nomor Pemeriksaan			**I**	**II**
1	Berat Contoh SSD + Keranjang	(gr)	4884	4958
2	Berat Keranjang	(gr)	443	439
3	Berat Contoh SSD	(gr)	4441	4519
4	Berat Contoh + Keranjang dalam air	(gr)	3126	3176
5	Berat Keranjang dalam air	(gr)	392	389
6	Berat Contoh dalam air	(gr)	2734	2787
7	Berat Jenis SSD =	$\frac{(3)}{(3) - 6)}$	2.6016	2.6091
8	Perbedaan hasil		0.0075	
9	Hasil rata - rata		2.6054	
10	Berat Contoh kering oven + keranjang	(gr)	4770.50	4846.00
11	Berat Contoh kering	(gr)	4327.50	4407.00
12	Berat Jenis (bulk) =	$\frac{(11)}{(3) - 6)}$	2.5351	2.5445
13	Perbedaan hasil		0.0093	
14	Hasil rata - rata		2.5398	
15	Berat Jenis semu =	$\frac{(11)}{(11)-(6)}$	2.7157	2.7204
16	Perbedaan hasil		0.0047	
17	Hasil rata - rata		2.7180	

Tempratur : 30°C Air : 31°C, Oven : 105°C			Kelembapan : 93 %	
Nomor Pemeriksaan			**I**	**II**
18	Penyerapan =	$\frac{(3 - 11)}{(11)} \times 100$	2.623%	2.541%
29	Perbedaan hasil		0.0008	
20	Hasil rata - rata		2.582%	

b. Agregat Halus

Tabel 05. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Tempratur : 30°C Air : 31°C, Oven : 105°C			Kelembapan : 93 %	
Nomor Pemeriksaan			**I**	**II**
1	Nomor Picnometer		**8**	**9**
2	Berat Picnometer	(gr)	185.7	185
3	Berat Contoh	(gr)	500	500
4	Berat Picnometer + Contoh + air	(gr)	990.6	990.4
5	Berat air	(gr)	304.9	305.4
6	Berat Jenis SSD =	$\frac{500}{(500) - (5)}$	2.5628	2.5694
7	Perbedaan hasil		0.0066	
8	Hasil rata - rata		2.5661	
9	Berat Contoh kering oven	(gr)	495.00	495.70
10	Berat Jenis (bulk) =	$\frac{500}{(500) - (9)}$	2.5372	2.5473
11	Perbedaan hasil		0.0101	
12	Hasil rata - rata		2.5422	
13	Berat Jenis semu =	$\frac{(9)}{(9) - (5)}$	2.6039	2.6048
14	Perbedaan hasil		0.0009	
15	Hasil rata - rata		2.6044	
5	Penyerapan =	$\frac{(500 - 9)}{(9)} \times 100$	1.0101%	0.8675%
6	Perbedaan hasil		0.0014	
7	Hasil rata - rata		0.939%	

c. Filler

Filler yang digunakan untuk pengujian campuran Aspal + limbah karet ban dengan kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%, adalah semen Tiga Roda dengan berat jenis 3,11 Gr

Perencanaan Campuran Beton Aspal (Mix Design)

a. Analisa Saringan Filler dengan Agregat

Analisa Saringan filler dan agregat yang dibutuhkan untuk perencanaan beton aspal (*Mix Design*).Dengan ukuran saringan yang digunakan yaitu #25, #20, #12.5, #10, #2.5, #1.2, #0.6, #0.3, dan #0.075, maka dilakukan analisa saringan terhadap gradasi spilt, pasir dan gradasi filler. Data selengkapnya dapat dilihat pada tabel 6. berikut ini

Tabel. 06 Analisa Saringan Agregat dan Filler

Analisa Saringan										
Temperatur	Ruang : ^{o}C, Air : ^{o}C, Oven : ^{o}C							Kelembaban : (%)		
Lokasi										
Ukuran Ayakan (mm)	**Gradasi Split**			**Gradasi Pasir**			**Gradasi Filler (Fly Ash)**			
	Berat (gr)	Prosen Tertahan(%)	Prosen Lolos (%)	Berat (gr)	Prosen Tertahan(%)	Prosen Lolos (%)	Berat (gr)	Prosen Tertahan(%)	Prosen Lolos (%)	
25	0		100			100			100	
19	0	0.00	100.00			100			100	
12.5	2684	27.07	72.93			100			100	
9.5	2847	28.71	44.22	0	0	100			100	
4.75	3618	36.49	7.73	2.9	0.49	99.51			100	
2.36	453	4.57	3.16	48.10	8.10	91.41			100	
1.18	0	0.00	0.00	0.00	0.00	91.41	0	0	100	
0.6	0	0.00	0.00	281.70	47.45	43.96	0.00	0.00	100.00	
0.3		0.00	0.00	149.80	25.23	18.73	0.00	0.00	100.00	
0.074		0.00	0.00	108.00	18.19	0.54	12.20	4.00	96.00	
Pan	313	3.16	0.00	3.20	0.54	0.00	292.80	96.00	0	
Jumlah	9915	100.00		593.70	100.00		305.00	100.00		

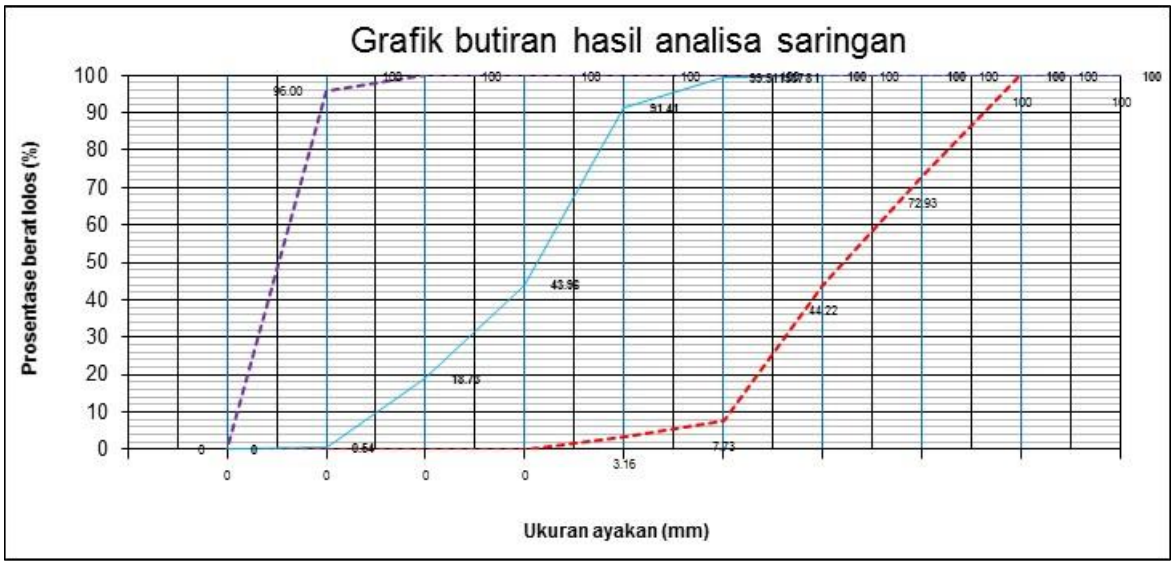
b. *Mix Design* Campuran Beraspal

Selanjutnya data untuk menghitung proporsi campuran, diambil dari hasil analisa saringan pada persentase lolos masing - masing agregat yang dingunakan dengan cara menggunakan metode Bina Marga sebagai berikut :

Tabel 07 Persentase Lolos Saringan Masing - Masing Agregat

URAIAN	UKURAN SARINGAN									
Inc.	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#200
mm	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,074
Split (Agregat Kasar)	100	100	72,93	44,22	7,73	3,16	0,00	0,00	0,00	0,00
Pasir (Agregat halus)	100	100	100	100	99,51	91,41	91,41	43,96	18,73	0,54
Bahan Pengisi (filler)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96,00

Dari data persentase yang lolos saringan pada masing - masing agregat kemudian dibuat grafik untuk menentukan persentase masing agregat yang akan digunakan kedalam campuran beraspal.



Gambar 07. Grafik Butiran Analisa Saringan

Dari hasil penggabungan pada gambar 4.6. di dapatkan proporsi campuran :

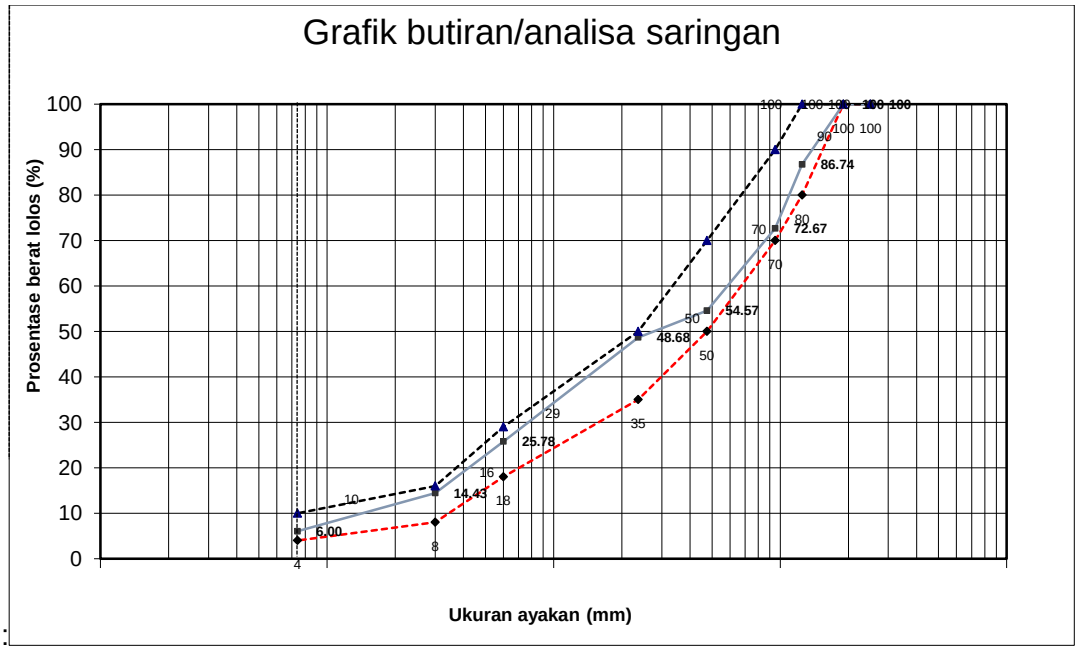
1. Komposisi Split = 49 %
2. Komposisi Pasir = 45 %
3. Komposisi Filler = 6 %

Dapat dilihat pada tabel 8 berikut ini :

Tabel 08 Proporsi Campuran Filler dan Agregat

Kontrol campuran										
Split	**49.0%**	49.00	49.00	35.74	21.67	3.79	1.55			
Pasir	**45.0%**	45.00	45.00	45.00	45.00	44.78	41.13	19.78	8.43	0.24
Filler	**6.0%**	6	6	6	6	6	6	6	6	5.76
Jumlah	**100.0%**									

Sehingga didapatkan grafik butiran/analisa saringan campuran untuk campuran beraspal adalah sebagai berikut



Gambar 08. Hasil Grafik *Mix Design*

c. Aspal Optimum

Banyaknya Aspal Optimum (ASOP) yang akan digunakan dalam campuran diperoleh dari perhitungan sebagai berikut :

Aspal Optimum = (0,035 x %split) + (0,045 x %pasir)+(0,18 x %Filler)+ K

Dimana K adalah Konstanta dengan nilai = 1.

Maka nilai aspal optimum untuk desain campuran / *Mix Design* adalah

= (0,035 x 49%) + (0,045 x 47%) +(0,18 x 6%) + 1= 5,82 % Aspal

d. Kebutuhan Benda Uji

Dari hasil analisa M*ix Design* yang telah dilakukan maka jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk pengujian Marshall adalah sebagi berikut.

- Volume 1 Mold = 1200 gram x (banyaknya *sample*)
  = 1200 gram x 5 buah Mold
  = 6000 gram (Jumlah benda Uji 5 buah benda uji)
- Berat Split = 49% x 6000 gram = 2940 gram
- Berat Pasir = 45% x 6000 gram = 2700 gram
- Berat Filler = 6% x 6000 gram = 360 gram

- Berat Asop = 5,82% x 6000 gram = 349,2 gram
- Karet ban 1% = 0,01 x 349,2 = 3,49 gram
- Karet ban 2% = 0,02 x 349,2 = 6,98 gram
- Karet ban 3% = 0,03 x 349,2 = 10,48 gram
- Karet ban 4% = 0,04 x 349,2 = 13,97 gram
- Karet ban 5% = 0,05 x 349,2 = 17,46 gram

e. Pengujian Marshall

Hasil untuk pengujian Marshall pada aspal normal dapat dilihat pada tabel 4.39. yang didapat dari perhitungan sebagai berikut :

Kolom a :	% aspal terhadap batuan	= 5,82% didapat dari perhitungan aspal optimum
Kolom b :	aspal terhadap campuran	= 5,50%
Kolom c :	Berat isi benda uji (gram)	= 1026,4 gram (dari hasil penimbangan)
Kolom d :	Berat dalam keadaan jenuh	= 1032,2 gram (dari hasil penimbangan)
Kolom e :	Berat dalam air	= 588,7 gram (dari hasil penimbangan)
Kolom f :	isi benda uji (Volume)	= berat keadaan jenuh – berat dalam air = 443,50 m^3
Kolom g :	kepadatan *(Density)*	$= \frac{Berat\ benda\ uji}{isi\ benda\ uji\ (volume)} = \frac{1026,4}{459}$ = 2,32gr/cc
Kolom h :	berat jenis maksimum	$= \frac{100}{\left(\frac{\%\ Split}{Bj\ Split} + \frac{\%Pasir}{Bj\ Pasir} + \frac{\%\ Filler}{Bj\ Filler}\right) + \frac{\%\ Aspal}{Bj\ Aspal}}$ $= \frac{100}{\left(\frac{49\%}{2,45} + \frac{45\%}{2,54} + \frac{6\%}{3,12}\right) + \frac{5,82\%}{1,0373}}$ = 2,21 gr/cc
Kolom i :	Rongga dalam Aspal	$= \frac{\%\ Aspal\ terhadap\ campura\ x\ Density}{Bj\ Aspal}$ $= \frac{5,50\%\ x\ 2,26}{1,0373}$ = 12,32
Kolom j :	Rongga dalam Agregat	$= \frac{(100 - \%\ Aspal\ terhadap\ campuran)\ Density}{Bj\ Agregat}$ $= \frac{100 - \%\ 5,50}{(2,45+2,54+3,12)}$ = 40,58%
Kolom k :	Jumlah kandungan rongga (%)	= 100 – rongga dalam aspal– Rongga dalam Agregat = 100 – 11,67 – 40,58 = 47,11%
Kolom l :	Persen rongga terhadap agregat	= 100 – rongga dalam agregat = 100 – 40,58% = 59,42%
Kolom m :	Persen rongga terisi aspal(VIB)	=100 x rongga dalam aspal/Rongga thd agregat. = 100 x (12,32 / 59,32) = 20,80%
Kolom n :	Persen rongga terhadap campuran	= 100 – (100 x Density berat jenis maksimum) =100–((100 x 2.32)/2.21) = 3,25%
Kolom o :	Pembacaan arloji stabilitas	= didapatka dari pembacaan alat Marshall = 55,8
Kolom p :	Stabilitas	= pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi = 55,8 x 16,65 =929,07
Kolom q :	Stabilitas marshall x korelasi benda uji	= 516,5 x angka korelasi = 1010,49 kg
Kolom r :	Kelelehan (*Flow*) di dapatkan dari pembacaan alat Marshall	= 2,78

Tabel 09. Daftar Angka Korelasi Stabilitas

Isi Benda Uji (Cm)	Tabel Benda Uji		Angka Korelasi
	(Inci)	(mm)	
200 - 213	1	25,4	5,56
214 - 225	1 1/6	27,0	5,00
226 - 237	1 1/8	28,6	4,55
238 - 250	1 3/16	30,2	4,17
251 - 264	1 1/4	31,8	3,85
265 - 276	1 1/16	33,3	3,57
277 - 289	1 3/8	34,9	3,33
290 - 301	1 7/16	36,5	3,03
302 - 316	1 1/2	38,1	2,78
317 - 328	1 9/16	39,7	2,50
329 - 340	1 5/8	41,3	2,27
341 - 353	1 11/16	42,9	2,08
354 - 367	1 3/4	44,4	1,92
368 - 379	1 13/16	46,0	1,79
380 - 392	1 7/8	47,6	1,67
393 - 405	1 15/16	49,2	1,56
406 - 420	2	50,8	1,47
421 - 431	2 1/16	52.4	1,39
432 - 443	2 1/8	54,0	1,32
444 - 456	2 3/16	55,6	1,25
457 - 470	2 1/4	57,2	1,19
471 - 482	2 5/16	58,7	1,14
483 - 495	2 3/8	60,3	1,09
496 - 508	2 7/16	61,9	1,04
509 - 522	2 1/2	63,5	1,00
523 - 535	2 9/16	64,0	0,96
536 - 546	2 5/8	65,1	0,93
547 - 559	2 11/16	66,7	0,89
560 - 573	2 3/4	68,3	0,86
574 - 585	2 13/16	71,4	0,83
568 - 598	2 7/8	73,0	0,81
599 - 610	2 15/16	74,6	0,78
611 - 625	3	76,2	0,76

1. Aspal + Limbah Karet Ban 0%

Tabel 10 Hasil Pengujian Marshall Aspal Beton + Limbah Karet Ban 0%

NO.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
I	5.82	5.50	1039.00	1045.00	586.00	459.00	2.26	2.21	12.00	39.53	48.47	60.47	19.85	2.31	58.00	965.70	1100.90	3.50
II	5.82	5.50	1072.00	1078.00	604.00	474.00	2.26	2.21	11.99	39.50	48.51	60.50	19.82	2.22	55.00	915.75	998.17	3.70
III	5.82	5.50	1037.00	1044.00	586.00	458.00	2.26	2.21	12.01	39.54	48.45	60.46	19.86	3.60	57.00	949.05	1081.92	4.70
IV	5.82	5.50	977.00	982.00	602.50	379.50	2.57	2.21	13.65	44.96	41.39	55.04	24.80	3.50	56.00	932.40	1165.50	4.80
V	5.82	5.50	1007.00	1012.00	565.00	447.00	2.25	2.21	11.94	39.34	48.71	60.66	19.69	4.60	53.00	882.45	705.96	3.20
Rata - Rata	5.82	5.50	1026.40	1032.20	588.70	443.50	2.32	2.21	12.32	40.58	47.11	59.42	20.80	3.25	55.80	929.07	1010.49	3.98

KETERANGAN :

a = % aspal terhadap batuan (di dapat dari perhitungan aspal Optimum)

b = % aspal terhadap campuran= (berat benda uji / (nilai aspal + 6000) x100%

c = Berat isi benda uji dalam keadaan kering (gram)

d = Berat isi benda uji dalam keadaan jenuh (gram)

e = Berat contoh dalam air (gram)

f = Isi contoh (ml.) = berat keadaan jenuh - berat dalam air (d-e)

g = Kepadatan (density) = (berat benda uji / isi benda uji) = (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum (teoritis)

$$\frac{100}{\left(\frac{\%\,Split}{Bj\,Split}+\frac{\%\,Pasir}{Bj\,Pasir}+\frac{\%\,Filler}{Bj\,Filler}\right)+\frac{\%\,Aspal}{Bj\,Aspal}}$$

I = Rongga dalam aspal (% Aspal terhadap campuran x Density / Berat Jenis aspal) (gr/cc)

j = Rongga dalam agregat (100 - % Aspal terhadap campuran) x Density / Berat Jenis agregat) (gr/cc)

k = Jumlah kandungan rongga (%) = (100 - rongga dalam aspal - rongga dalam aspal) = (100 - i - j)

l = Persen rongga terhadap agregat = 100 - rongga dalam agregat = (100 - j)

m = Persen rongga terisi aspal = (100 x rongga dalam aspal / rongga terhadap agregat) = (100 x I / j)

n = Persen rongga terhadap campuran=(100 -(100 x density / berat jenis maksimum) =(100)-(100.g/ h)

o = Pembaca arloji stabilitas (di dapatka dari pembaca alat Marshall)

p = Stabilitas = Pembaca arloji stabilitas x kalibrasi profing ring) = (o x kalibrasi alat = 16,65)

q = Stabilitas = (Stabilitas Marshall x korelasi benda uji) = (kg)

r = Kelelahan (flow) = didapatkan dari pembacaan alat Marshall

2. Aspal + Limbah Karet Ban 1%

Untuk perhitungan Marshall pada aspal + Limbah karet ban 1% menggunakan cara perhitungan yang sama seperti sebelumnya sehingga hasilnya dapat di tabelkan sebagai berikut.

Tabel 10. Hasil Pengujian Marshal Aspal beton + Limbah Karet Ban 1%

NO.	a	b	c	d	e	f	g	h	I	j	k	l	m	n	o	p	q	r
I	5.82	5.50	1075.00	1040.00	584.00	456.00	2.36	2.21	12.50	41.17	46.33	58.83	21.25	2.10	54.00	899.10	980.02	4.20
II	5.82	5.50	989.00	986.00	555.00	431.00	2.29	2.21	12.17	40.08	47.76	59.92	20.30	3.72	58.00	965.70	1052.61	3.50
III	5.82	5.50	1058.00	1040.00	582.00	458.00	2.31	2.21	12.25	40.34	47.41	59.66	20.53	4.41	60.00	999.00	1088.91	3.40
IV	5.82	5.50	1050.00	1057.00	594.00	463.00	2.27	2.21	12.02	39.61	48.37	60.39	19.91	2.50	57.90	964.04	1050.80	4.20
V	5.82	5.50	1078.00	997.00	560.00	437.00	2.47	2.21	13.08	43.08	43.84	56.92	22.98	3.67	58.30	970.70	1058.06	3.90
Rata-Rata	5.82	5.50	1050.00	1024.00	575.00	449.00	2.34	2.21	12.40	40.86	46.74	59.14	20.99	3.28	57.64	959.71	1046.08	3.84

KETERANGN:

a = % aspal terhadap batuan (di dapat dari perhitungan aspal Optimum)

b = % aspal terhadap campuran= (berat benda uji / (nilai aspal + 6000) x 100%

c = Berat isi benda uji dalam keadaan kering (gram)

d = Berat isi benda uji dalam keadaan jenuh (gram)

e = Berat contoh dalam air (gram)

f = Isi contoh (ml.) = berat keadaan jenuh - berat dalam air (d-e)

g = Kepadatan (density) = (berat benda uji / isi benda uji) = (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum (teoritis)

$$\frac{100}{\left(\frac{\%\ Split}{Bj\ Split}+\frac{\%\ Pasir}{Bj\ Pasir}+\frac{\%\ Filler}{Bj\ Filler}\right)+\frac{\%\ Aspal}{Bj\ Aspal}}$$

I = Rongga dalam aspal (% Aspal terhadap campuran x Density / Berat Jenis aspal) (gr/cc)

j = Rongga dalam agregat (100 - % Aspal terhadap campuran) x Density / Berat Jenis agregat) (gr/cc)

k = Jumlah kandungan rongga (%) = (100 - rongga dalam aspal - rongga dalam aspal) = (100 - i - j)

l = Persen rongga terhadap agregat = 100 - rongga dalam agregat = (100 - j)

m = Persen rongga terisi aspal = (100 x rongga dalam aspal / rongga terhadap agregat) = (100 x I / j)

n = Persen rongga terhadap campuran =(100 - (100 x density/berat jenis maksimum) =(100)-(100.g/h)

o = Pembaca arloji stabilitas (di dapatka dari pembaca alat Marshall)

p = Stabilitas = Pembaca arloji stabilitas x kalibrasi profing ring) = (o x kalibrasi alat = 16,65)

q = Stabilitas = (Stabilitas Marshall x korelasi benda uji) = (kg)

r = Kelelahan (flow) = didapatkan dari pembacaan alat Marshall

3. Aspal + Limbah Karet Ban 2%

Untuk perhitungan Marshall pada aspal + Limbah karet ban 2% menggunakan cara perhitungan yang sama seperti sebelumnya sehingga hasilnya dapat di tabelkan sebagai berikut.

Tabel 11. Harsil Pengujian Marshal, Aspal Beton + Limbah Beton 2 %

NO.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
I	5.82	5.50	1075.0	1005.0	566.0	439.00	2.45	2.21	12.98	42.77	44.25	57.23	22.69	10.68	55.30	920.75	957.57	3.90
II	5.82	5.50	989.0	1001.0	564.0	437.00	2.26	2.21	12.00	39.52	48.48	60.48	19.84	2.29	57.40	955.71	1194.64	4.20
III	5.82	5.50	1058.0	1066.0	592.0	474.00	2.23	2.21	11.83	38.98	49.18	61.02	19.40	0.89	60.00	999.00	1088.91	3.90
IV	5.82	5.50	1050.0	1052.0	590.0	462.00	2.27	2.21	12.05	39.69	48.26	60.31	19.98	2.73	58.90	980.69	1117.98	4.10
V	5.82	5.50	1078.0	1119.0	628.0	491.00	2.20	2.21	11.64	38.34	50.02	61.66	18.88	1.30	61.30	1020.65	1112.50	3.80
Rata-Rata	5.82	5.50	1050.0	1048.6	588.0	460.60	2.28	2.21	12.10	39.86	48.04	60.14	20.16	3.58	58.58	975.36	1094.32	3.98

KETERANGAN :

a = % aspal terhadap batuan (di dapat dari perhitungan aspal Optimum)

b = % aspal terhadap campuran= (berat benda uji / (nilai aspal + 6000) x 100%

c = Berat isi benda uji dalam keadaan kering (gram)

d = Berat isi benda uji dalam keadaan jenuh (gram)

e = Berat contoh dalam air (gram)

f = Isi contoh (ml.) = berat keadaan jenuh - berat dalam air (d-e)

g = Kepadatan (density) = (berat benda uji / isi benda uji) = (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum (teoritis)

$$\frac{100}{\left(\frac{\%\,Split}{Bj\,Split}+\frac{\%\,Pasir}{Bj\,Pasir}+\frac{\%\,Filler}{Bj\,Filler}\right)+\frac{\%\,Aspal}{Bj\,Aspal}}$$

I = Rongga dalam aspal (% Aspal terhadap campuran x Density / Berat Jenis aspal) (gr/cc)

j = Rongga dalam agregat (100 - % Aspal terhadap campuran) x Density / Berat Jenis agregat) (gr/cc)

k = Jumlah kandungan rongga (%) = (100 - rongga dalam aspal - rongga dalam aspal) = (100 - i - j)

l = Persen rongga terhadap agregat = 100 - rongga dalam agregat = (100 - j)

m = Persen rongga terisi aspal = (100 x rongga dalam aspal / rongga terhadap agregat) = (100 x I / j)

n = Persen rongga terhadap campuran = (100 -(100 x density / berat jenis maksimum) = (100)-(100.g/ h)

o = Pembaca arloji stabilitas (di dapatka dari pembaca alat Marshall)

p = Stabilitas = Pembaca arloji stabilitas x kalibrasi profing ring) = (o x kalibrasi alat = 16,65)

q = Stabilitas = (Stabilitas Marshall x korelasi benda uji) = (kg)

r = Kelelahan (flow) = didapatkan dari pembacaan alat Marshall

4. Aspal + Limbah Karet Ban 3%

Untuk perhitungan Marshall pada aspal + Limbah karet ban 3% menggunakan cara perhitungan yang sama seperti sebelumnya sehingga hasilnya dapat di tabelkan sebagai berikut.

Tabael 12. Harsil Pengujian Marshal, Aspal Beton + Limbah Beton 3 %

NO.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
I	5.82	5.50	1075.00	1032.00	577.00	455.00	2.36	2.21	12.53	41.26	46.21	58.74	21.33	5.21	58.00	965.70	1052.61	4.00
II	5.82	5.50	989.00	1062.00	594.00	468.00	2.11	2.21	11.20	36.91	51.89	63.09	17.76	4.48	58.30	970.70	1155.13	3.80
III	5.82	5.50	1058.00	1092.00	612.00	480.00	2.20	2.21	11.69	38.49	49.82	61.51	19.00	0.37	59.40	989.01	1127.47	4.10
IV	5.82	5.50	1050.00	1080.00	603.00	477.00	2.20	2.21	11.67	38.44	49.88	61.56	18.96	0.50	57.00	949.05	1081.92	3.90
V	5.82	5.50	1078.00	1010.00	563.00	447.00	2.41	2.21	12.79	42.12	45.10	57.88	22.09	7.80	60.10	1000.67	1090.72	4.40
Rata-Rata	5.82	5.50	1050.00	1055.20	589.80	465.40	2.26	2.21	11.98	39.44	48.58	60.56	19.83	3.67	58.56	975.02	1101.57	4.04

KETERANGAN:

a = % aspal terhadap batuan (di dapat dari perhitungan aspal Optimum)

b = % aspal terhadap campuran= (berat benda uji / (nilai aspal + 6000) x 100%

c = Berat isi benda uji dalam keadaan kering (gram)

d = Berat isi benda uji dalam keadaan jenuh (gram)

e = Berat contoh dalam air (gram)

f = Isi contoh (ml.) = berat keadaan jenuh - berat dalam air (d-e)

g = Kepadatan (density) = (berat benda uji / isi benda uji) = (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum (teoritis)

$$\frac{100}{\left(\frac{\%\,Split}{Bj\,Split}+\frac{\%\,Pasir}{Bj\,Pasir}+\frac{\%\,Filler}{Bj\,Filler}\right)+\frac{\%\,Aspal}{Bj\,Aspal}}$$

I = Rongga dalam aspal (% Aspal terhadap campuran x Density / Berat Jenis aspal) (gr/cc)

j = Rongga dalam agregat (100 - % Aspal terhadap campuran) x Density / Berat Jenis agregat) (gr/cc)

k = Jumlah kandungan rongga (%) = (100 - rongga dalam aspal - rongga dalam aspal) = (100 - i - j)

l = Persen rongga terhadap agregat = 100 - rongga dalam agregat = (100 - j)

m = Persen rongga terisi aspal = (100 x rongga dalam aspal / rongga terhadap agregat) = (100 x I / j)

n = Persen rongga terhadap campuran = (100 - (100 x density / berat jenis maksimum) = (100)-(100.g / h)

o = Pembaca arloji stabilitas (di dapatka dari pembaca alat Marshall)

p = Stabilitas = Pembaca arloji stabilitas x kalibrasi profing ring) = (o x kalibrasi alat = 16,65)

q = Stabilitas = (Stabilitas Marshall x korelasi benda uji) = (kg)

r = Kelelahan (flow) = didapatkan dari pembacaan alat Marshall

5. Aspal + Limbah Karet Ban 4%

Untuk perhitungan Marshall pada aspal + Limbah karet ban 4% menggunakan cara perhitungan yang sama seperti sebelumnya sehingga hasilnya dapat di tabelkan sebagai berikut.

Tabel 13. Harsil Pengujian Marshal, Aspal Beton + Limbah Beton 4 %

NO	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
I	5.82	5.50	1075.00	1025.00	578.00	447.00	2.40	2.21	12.75	42.00	45.25	58.00	21.99	5.50	61.00	1015.65	1107.06	4.50
II	5.82	5.50	989.00	1024.00	578.00	446.00	2.22	2.21	11.76	51.64	36.61	48.36	24.31	0.23	60.00	999.00	1248.75	4.30
III	5.82	5.50	1058.00	1114.00	625.00	489.00	2.16	2.21	11.47	37.79	50.74	62.21	18.44	3.20	63.00	1048.95	1143.36	4.40
IV	5.82	5.50	1050.00	1078.00	633.00	445.00	2.36	2.21	12.51	41.21	46.28	58.79	21.28	6.65	65.00	1082.25	1179.65	3.50
V	5.82	5.50	1078.00	1107.00	596.00	511.00	2.11	2.21	11.19	36.84	51.97	63.16	17.71	4.65	61.00	1015.65	903.93	4.20
Rata Rata	5.82	5.50	1050.00	1069.60	602.00	467.60	2.25	2.21	11.94	41.89	46.17	58.11	20.74	4.05	62.00	1032.30	1116.55	4.18

KETERANGAN :

a = % aspal terhadap batuan (di dapat dari perhitungan aspal Optimum)

b = % aspal terhadap campuran= (berat benda uji / (nilai aspal + 6000) x 100%

c = Berat isi benda uji dalam keadaan kering (gram)

d = Berat isi benda uji dalam keadaan jenuh (gram)

e = Berat contoh dalam air (gram)

f = Isi contoh (ml.) = berat keadaan jenuh - berat dalam air (d-e)

g = Kepadatan (density) = (berat benda uji / isi benda uji) = (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum (teoritis)

$$\frac{100}{\left(\frac{\%\,Split}{Bj\ Split}+\frac{\%\,Pasir}{Bj\ Pasir}+\frac{\%\,Filler}{Bj\ Filler}\right)+\frac{\%\,Aspal}{Bj\ Aspal}}$$

I = Rongga dalam aspal (% Aspal terhadap campuran x Density / Berat Jenis aspal) (gr/cc)

j = Rongga dalam agregat (100 - % Aspal terhadap campuran) x Density / Berat Jenis agregat) (gr/cc)

k = Jumlah kandungan rongga (%) = (100 - rongga dalam aspal - rongga dalam aspal) = (100 - i - j)

l = Persen rongga terhadap agregat = 100 - rongga dalam agregat = (100 - j)

m = Persen rongga terisi aspal = (100 x rongga dalam aspal / rongga terhadap agregat) = (100 x I / j)

n = Persen rongga terhadap campuran = (100 -(100 x density / berat jenis maksimum) =(100)-(100.g / h)

o = Pembaca arloji stabilitas (di dapatka dari pembaca alat Marshall)

p = Stabilitas = Pembaca arloji stabilitas x kalibrasi profing ring) = (o x kalibrasi alat = 16,65)

q = Stabilitas = (Stabilitas Marshall x korelasi benda uji) = (kg)

r = Kelelahan (flow) = didapatkan dari pembacaan alat Marshall

6. Aspal + Limbah Karet Ban 5%

Untuk perhitungan Marshall pada aspal + Limbah karet ban 5% menggunakan cara perhitungan yang sama seperti sebelumnya sehingga hasilnya dapat di tabelkan sebagai berikut.

Tabel 14. Harsil Pengujian Marshal, Aspal Beton + Limbah Beton 5 %

NO.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
I	5.82	5.50	1075.00	1082.50	607.00	475.50	2.26	2.21	11.99	39.48	48.53	60.52	19.81	2.19	56.00	932.40	1016.32	4.30
II	5.82	5.50	989.00	997.00	561.00	436.00	2.27	2.21	12.03	39.62	48.36	60.38	19.92	2.53	55.00	915.75	1144.69	4.30
III	5.82	5.50	1058.00	1066.00	599.00	467.00	2.27	2.21	12.01	39.57	48.42	60.43	19.88	2.40	59.00	982.35	1070.76	3.90
IV	5.82	5.50	1050.00	1058.00	593.00	465.00	2.26	2.21	11.97	39.44	48.59	60.56	19.77	2.06	59.00	982.35	1119.88	3.20
V	5.82	5.50	1078.00	1083.00	608.00	475.00	2.27	2.21	12.03	39.64	48.33	60.36	19.93	2.58	57.00	949.05	1034.46	3.50
Rata -Rata	5.82	5.50	1050.00	1057.30	593.60	463.70	2.26	2.21	12.01	39.55	48.45	60.45	19.86	2.35	57.20	952.38	1077.22	3.84

KETERANGAN :

a = % aspal terhadap batuan (di dapat dari perhitungan aspal Optimum)

b = % aspal terhadap campuran= (berat benda uji / (nilai aspal + 6000) x 100%

c = Berat isi benda uji dalam keadaan kering (gram)

d = Berat isi benda uji dalam keadaan jenuh (gram)

e = Berat contoh dalam air (gram)

f = Isi contoh (ml.) = berat keadaan jenuh - berat dalam air (d-e)

g = Kepadatan (density) = (berat benda uji / isi benda uji) = (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum (teoritis)

$$\frac{100}{\left(\frac{\%\ Split}{Bj\ Split}+\frac{\%\ Pasir}{Bj\ Pasir}+\frac{\%\ Filler}{Bj\ Filler}\right)+\frac{\%\ Aspal}{Bj\ Aspal}}$$

I = Rongga dalam aspal (% Aspal terhadap campuran x Density / Berat Jenis aspal) (gr/cc)

j = Rongga dalam agregat (100 - % Aspal terhadap campuran) x Density / Berat Jenis agregat) (gr/cc)

k = Jumlah kandungan rongga (%) = (100 - rongga dalam aspal - rongga dalam aspal) = (100 - i - j)

l = Persen rongga terhadap agregat = 100 - rongga dalam agregat = (100 - j)

m = Persen rongga terisi aspal = (100 x rongga dalam aspal / rongga terhadap agregat) = (100 x I / j)

n = Persen rongga terhadap campuran = (100 -(100 x density / berat jenis maksimum) = (100)-(100.g / h)

o = Pembaca arloji stabilitas (di dapatka dari pembaca alat Marshall)

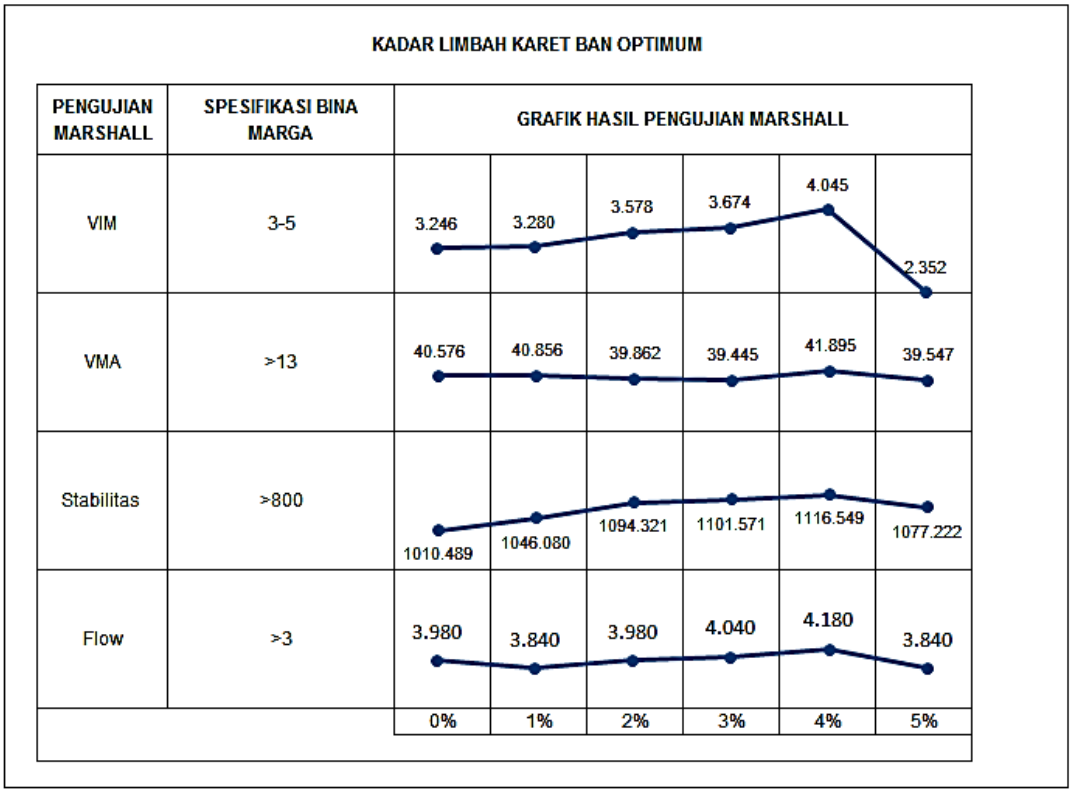
p = Stabilitas = Pembaca arloji stabilitas x kalibrasi profing ring) = (o x kalibrasi alat = 16,65)

q = Stabilitas = (Stabilitas Marshall x korelasi benda uji) = (kg)

r = Kelelahan (flow) = didapatkan dari pembacaan alat Marshall

Penentuan Kadar Aspal dengan Bahan Tambah Limbah Karet Ban Optimum

Penentuan kadar aspal optimum untuk menetapkan kadar aspal efektif dalam campuran yang diperlukan untuk pembuatan benda uji baru denga komposisi agregat sama tetapi kadar aspal optimum yeng telah di tentukan dengan melihat acuan dengan hasil persyaratan Stabilitas, Flow (kelelehan), VMA (Rongga dalam agregat), VIM (Rongga terhadap campuran) yang terdapat pada ketentuan Bina Marga dapat dilihat pada gambar grafik 13.



Gambar 09. Grafik VIM, VMA, Stabilitas, dan Flow dengan tambahan 0 %, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% limbah karet ban

Nilai optimum terdapat pada kadar aspal 5,8 % + limbah karet ban 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% karena memenuhi semua persyaratan, VMA, stabilitas dan flow, sedangkan penambahan limbah karet ban 5% tidak memenuhi syarat karena nilai VIM di bawah 3%

KESIMPULAN

Limbah karet ban di daur ulang dapat digunakan sebagai bahan aditif campuran beraspal, dan dapat menaikkan kualitas aspal

Modifikasi aspal dengan limbah karet ban berpengaruh positif, hal ini dapat dilihat pada nilai stabilitas *Marshall*. Terlihat bahwa ada kenaikan nilai campuran aspal + limbah karet ban 4% yaitu besar 1116.549 kg/mm dibandingkan yang tanpa tambahan limbahan ban yaitu 1010,489 kg/mm. Sehingga aspal dapat di gunakan untuk lapis perkerasan jalan berat

Kadar limbah karet ban optimum yang didapat sebesar 4% karena memenuhi nilai VIM, VMA, Stabilitas, kelelehan yang paling tinggi sesuai dengan spesifikasi Bina Marga

Hasil pengujian karakteristik Marshall pada Kadar limbah karet Optimum 4% pada campuran aspal + limbah karet ban adalah sebagai berikut :

a. Nilai VIM (Void in Mix) sebesar 4,045 %
b. Nilai VMA (Void in Mineral Agregat) sebesar 41,895 %
c. Nilai stabilitas Marshall sebesar 1116,549 kg/jam
d. Nilai Flow (kelelehan) sebesar 4,180 mm

menunjukkan bahwa penambahan limbah karet ban bisa membantu campuran menjadi lebih kaku mengakibatkan naiknya titik lembek namun berpori tetapi campuran memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu dan cuaca.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan aditif lain, baik jenis limbah karet ban maupun bahan limbah lainnya.

Kontrol Mix Agregat dan aspal seharusnya lebih diperhatikan karena akan sangat berpengaruh pada benda uji

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO, (1993), *Guide For Design of Pavement Structure,* Washington DC. ASTM, 1980, *Annual Book of ASTM Standars,* parts 15 Road Paving.

Balai Bahan Dan Perkerasan Jalan Pusat Penelitian Dan Pengembangan Prasarana Transportasi, (2001), Laporan Penelitian " Penggunaan Bahan Buangan (Waste Materials) Untuk Konstruksi Prasarana Jalan ", Desember 2001.

Departemen Pekerjaan Umum, (1987), Petunjuk Perencanaan Tebal perkerasan Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen, SKBI-2.326.UDC.625.73(02), Biro Penerbit PU.

Speksifikasi Umum Bina Marga, 2010 Spesifikasi Bidang Jalan

Departemen Pekerjaan Umum, (1994), Penelitian "Peningkatan Kualitas Campuran Beraspal Menggunakan Karet Padat Pembuat Ban Untuk Lapis Permeabel ", Maret 1994.

Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, (2001), Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas.

Iriansyah, AS, (1992), Percobaan Lapangan Campuran Aspal Karet (parutan Ban Bekas) Di jalan Percobaan Skala Penuh Cileunyi (Seksi 50 – 55).

Sukirman S, 1992, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Nova, Bandung.

Suprapto, T.M, 2004, Bahan Dan Struktur Jalan Raya, Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Nurkhayati Darunifah, 2007, Pengaruh Bahan Tambahan Biji Plastik Terhadap Campuran Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS – WC), Universitas Diponegoro, Semarang.

Permatasari Vebby, 2011, Karakteristik Marshall Campuran Asphalt Concrete (AC) Dengan Bahan Pengisi Abu Vulkanik Gunung Merapi, Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta.