BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkerasan jalan raya merupakan lapisan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, perkerasan jalan raya dibuat berlapis-lapis supaya mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai agar dapat menunjang fungsinya sebagai konstruksi jalan. Permasalahan umum yang terjadi di lapangan adalah dalam produksi pemecahan batu hanya menghasilkan *filler* yang sangat terbatas jumlahnya dan sering tidak seimbang dengan permintaan. Upaya mencari alternatif *filler* pengganti dari potensi sumber daya alam menjadi sangat penting untuk dilakukan. Salah satu penganti *filler* yang digunakan yaitu cangkang cue. Cangkang cue ini banyak dimiliki oleh sebuah warung makan kaki gunong kulu. Warung makan kaki gunong kulu ini mampu mengolah cue per hari hinga 20 kilo daging cue dan menghasilkan limbah lebih kurang 2 goni isi 15 kilo cangkang cue per hari. Cangkang Cue yang penulis ambil sekitar 25 kilo di lapangan dan menghasilkan *filler* sebanyak 6 kilo yang lolos saringan 200 mm. Cangkang cue ini menjadi sampah yang belum dimanfaatkan secara maksimal.

Cangkang cue merupakan cangkang dari hewan molusca yang banyak hidup di daerah perairan muara dan merupakan salah satu dari golongan siput. Umumnya, cue sebesar jari orang dewasa, daging cue memanjang memenuhi cangkang. Cangkang cue ini di duga hampir menyerupai cangkang lokan yaitu dari segi kandungan kimianya yang hampir sama dengan semen yaitu mengandung kalsium karbonat (CaCO3) yang apabila dipanaskan akan berubah menjadi CaO dan melepaskan CO2 ke udara, sehingga yang tersisa hanya CaO (kapur tohor) dan Si (Silika) dimana kandungan tersebut merupakan komponen pembentuk semen selain Fe2O3 (esentia, 2014 dalam veranita 2019). Ditinjau dari warna dan habitat hidupnya dari cue ini sama dengan lokan, hanya saja yang

membedakan dar segi bentuk dan ukuran. Cangkang cue lebih dominan keras dan kokoh dibanding dengan cangkang lokan.

Selama ini cangkang cue hanya digunakan untuk pembuatan hiasan kolam, pernak pernik dan aksesoris sedangkan untuk penggunaan campuran aspal belum pernah dilakukan penelitian. Disini penulis ingin membuat inovasi baru untuk menjadikan cangkang cue ini sebagai pengganti *filler* dalam campuran perkerasaan aspal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan bagaimana pengaruh karakteristik Marshall pada campuran aspal dengan penambahan cangkang cue sebagai pengganti *filler*.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh karakteristik Marshall pada campuran aspal dengan penambahan cangkang cue sebagai pengganti *filler*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian studi karakteristik Marshall pada campuran aspal dengan penambahan limbah cangkang cue sebagai pengganti *filler* adalah :

1. Cangkang cue (siput air tawar) yang digunakan berasal dari warung nasi kaki gunung kulu;
2. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70;
3. Menggunakan Gradasi rapat/gradasi menerus (*dense graded*);
4. Metode yang digunakan untuk campuran lapisan aspal AC-BC adalah metode Bina Marga 2018;

5. Agregat yang digunakan adalah agregat alam, batu gunung ,split, dan lain lain;
6. Pengujian benda uji ini dilakukan di laboratorium Dinas Perkerjaan Umum Aceh Barat;
7. Variasi *filler* semen dan abu cangkang cue 0:100% dan 25:75%;
8. Material yang digunakan di ambil dari PT.Twie Buntha Grub Kabupaten Nagan Raya;
9. Sifat fisis agregat dan aspal di ambil dari data sekunder yaitu dari PT.Twie Buntha Grub.

1.5 Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium untuk variasi *filler* semen cue (0:100) peroleh KAO 6,25 % dengan nilai stabilitas sebesar 1237,310 kg, *density* 2,36 gr/m^3, *flow* 3,87 mm, VIM 4,09%, VMA 16,17%, VFB 74,72%, MQ 321,755 kg/mm. Sedangkan untuk variasi 25:75 di peroleh KAO sebesar 5,75 % dengan nilai stabilitas sebesar 1346,685 kg, *density* 2,33 gr/m^3, *flow* 3,47 mm, VIM 5,83%, VMA 16,80%, VFB 65,38%, MQ 395,790 kg/mm. Nilai durabilitas yang diperoleh untuk variasi 0:100 adalah 95,83% dan variasi 25:75 nilai durabilitasnya sebesar 93,13%. Variasi 0:100 mempunyai nilai durabilitas atau keawetan yang sedikit lebih tinggi dibanding variasi 25/75. Dari kedua variasi tersebut diperoleh nilai stabilitas yang baik yang sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, semakin tinggi kadar aspal optimum maka menyebabkan nilai stabilitas yang lebih rendah nilai flow dan vim yang lebih tinggi hal ini dapat disimpulkan bahwa tingginya kadar cue dalam suatu campuran dapat meningkatan kelenturan dan keawetan. Kedua variasi ini cocok digunakan untuk lalu lintas berat.

BAB II
TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Konstruksi Perkerasan Jalan

Untuk menunjang fungsinya sebagai konstruksi jalan, maka perkerasan jalan raya dibuat berlapis-lapis agar mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai. Lapis perkerasan itu terdiri dari lapis permukaan sebagai lapis paling atas yang terdiri dari lapis aus (wearing course) dan lapis antara (binder course). Lapis pondasi atas (base course) yang terletak diantara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah. Lapis pondasi bawah (subbase course) yang terletak diantara lapis pondasi dan tanah dasar. Semua lapis perkerasan tersebut memiliki spesifikasi tersendiri untuk menunjang fungsinya masing-masing sebagai lapis perkerasan Suprapto, T.M. (2004 : 3).

2.2 Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. Menurut Sukirman (2016 : 23), Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya pelekatan dengan aspal.

2.2.1 Agregat kasar

Bahan agregat kasar terdiri dari batu pecah dan kerikil pecah yang tertahan pada saringan no.4 atau ukuran saringan 4,75 mm. Agregat kasar harus

bersih, kuat dan bebas dari lempung atau bahan-bahan lain yang tidak di kehendaki Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum 2018. (Hal:37). Persyaratan teknis agregat kasar untuk bahan campuran beraspal diberikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium dan Magnesium Sulfat	Natrium Sulfat		SNI 3407:2008	Maks 12%
	Magnesium Sulfat			Maks 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 Putaran	SNI 2417:2008	Maks 6%
		500 Putaran		Maks 30%
	Semua Jenis Campuran Berasapal Bergradasi Lainnya	100 Putaran		Maks 8%
		500 Putaran		Maks 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439-2011	Min 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI7619-2012	100/90*)
		Lainnya		95/90**)
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks 5%
		Lainnya		Maks 10%
Matrial lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117 2012	Maks 1%

Sumber : Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum (2018)

2.2.2 Agregat halus

Bahan agregat halus terdiri atas agregat hasil pemecah batu (abu batu) atau pasir alam dengan ukuran lolos saringan no. 4 (4,75 mm) dan tertahan pada saringan no. 200 (75 micron). Agregat halus harus terdiri atas partikel-partikel yang bersih, keras, tidak mengandung lempung atau bahan-bahan yang tidak dikehendaki Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum, 2018. (Hal : 38).

2.3 Sifat Fisis Agregat

Pemeriksaan sifat fisis agregat melipuli berat jenis persyaratan agregat, berat isi agregat, keausan agregat, pelapukan (*soundness*), indeks kepipihan dan kelonjongan, kelekatan terhadap aspal.

2.3.1 Berat jenis dan persyaratan agregat

Sukirman (2016 : 43), berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat dari satuan volume agregat terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan. Berdasarkan jenis volume yang digunakan sebagai dasar perhtungan berat jenis, maka terdapat empat jenis berat jenis (specific gravity) yaitu:

a. Berat Jenis (*bulk specific grafity*);
b. Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*);
c. Berat jenis semu (*apparent specific grafity*);
d. Berat jenis efektif (*efective specific gravity*).

2.3.2 Berat isi agregat

Berat isi agregat adalah perbandingan antara volume agregat dan berat volume air, sedangkan penyerapannya adalah presentase berat air yang didapat, diserap pori terhadap berat agregat kering. Nilai berat jenis agregat yang disyaratkan > 2,50 dan persyaratan < 3%.

2.3.3 Keausan agregat

Keausan adalah perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no 12 terhadap berat semula dalam persen. Untuk menguji kekuatan agregat kasar dapat menggunakan *bejana rudolf* ataupun dengan alat uji *los angeles test*.

Mesin yang digunakan untuk pengujian keausan ini adalah mesin *los angeles*. Mesin ini berbentuk slinder dengan diameter 170 cm yang terbuat dari baja. Dalam pengujian ini menggunakan bola-bola baja yang berukuran 4-6 cm sebagai nilai bantu untuk menghancurkan agregat. Jumlah bola yang digunakan tergantung dari tipe gradasi dan agregat yang diuji. Di dalam mesin *los angeles* terdapat sirip yang berfungsi sebagai pembalik material yang diuji dan lama pengujian tergantung dari jumlah berat material.

Berdasarkan SNI-2417-1991, keausan agregat tergolong sebagai berikut :

1. Apabila nilai keausan yang diperoleh > 40%, maka agregat yang diuji tidak baik digunakan dalam bahan perkerasan jalan,
2. Apabila nilai keausan agregat yang diperoleh < 40%, maka agregat yang diuji baik digunakan dalam bahan perkerasan jalan.

2.3.4 Pelapukan (*soundness)*

Pelapukan yaitu ketahanan dan keawetan agregat terhadap pengaruh cuaca. Pemeriksaan ini dilakukan dengan menggunakan larutan magnesium sulfat (Mg2SO4) Sukirman (2016 : 28).

2.3.5 Indeks kepipihan dan kelonjongan

RSNI T-01-2005. Hal : 3, menyatakan indeks kepipihan adalah berat total agregat yang lolos slot dibagi dengan berat total agregat yang tertahan pada ukuran nominal tertentu. Sedangkan indeks kelonjongan adalah perbandingan dalam persen berat agregat lonjong yang tertahan terhadap berat total.

2.3.6 Kelekatan agregat terhadap aspal

Menurut SNI-03-2439-2011, metode ini digunakan untuk menentukan besarnya angka kelekatan agregat terhadap aspal. kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam presentase luas permukaan bantuan yang tertutup aspal terhadap seluruh luas permukaan dan dilihat secara visual (pengamatan langsung terhadap benda uji).

2.4 Gradasi Agregat

Sukirman, 2016. Hal : 28-31, Gradasi Agregat adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pengujian analisis ayakan. Satu set ayakan umumnya terdiri dari ayakan berukuran 4 inci, 3½ inci, 3 inci, 2½ inci, 2 inci, 1½ inci, 1 inci, ¾ inci, ½ inci, 3/8 inci, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, dan No.200 Gradasi agregat

diperoleh dari hasil pengujian dan analisis dengan menggunakan 1 set ayakan. Ayakan berukuran bukaan paling besar diletakkan teratas, dan yang paling halus (No.200), terbawah sebelum pan. Jadi satu set ayakan dimulai dari pan dan diakhiri dengan tutup ayakan.

a. Gradasi seragam (*uniform graded*) adalah campuran agregat dengan ukuran yang hampir sama atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak mengisi rongga antar agregat. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas rendah;
b. Gradasi rapat/gradasi menerus (*dense graded*) disebut juga gradasi baik (*well graded*), adalah berimbangan agregat kasar dan agregat halus sehingga akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kedap air dan awet.
c. Gradasi buruk (*poorly graded*) adalah campuran agregat dimana fraksi halusnya cenderung lebih banyak sehingga menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas rendah, kedap air dan kurang awet. Berapa tipe agregat bergradasi buruk adalah senjang (*gap graded*) untuk *hot rolled asphalt* (HRA), *hot rolled sheet* (HRS) dan agregat bergradasi terbuka.

Tabel 2.2 Gradasi Rapat Agregat Untuk Campuran Aspal(1/1)

Ukuran Ayakan			**% Berat yang Lolos Terhadap Total Agregat Dalam Campuran**
ASTM		**(mm)**	**Aspalt Concrete**
			Gradasi Kasar
			BC
Agregat Kasar	1½”	37,5	-
	1	2	100
	¾	1	90-100
	½	12,5	75-90
	3/8”	9,5	66-82
Agregat Halus	No.4	4,75	46-64
	No.8	2,36	30-49
	No.16	1,18	18-38
	No.30	0,6	12-28
	No.50	0,3	7-20
	No.100	0,15	5-13
Filler	No.200	0,075	4-8

Sumber : Sukirman (2016)

2.5 Bahan pengisi *(filler)*

Bahan pengisi *(filler)* merupakan bahan campuran yang mengisi ruang antara agregat halus dan kasar yang akan meningkatkan kepadatan, *filler* adalah bahan yang lolos ayakan no. 200 (75 micron) dan tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Bahan pengisi (*filler*) terdiri dari debu batu kapur (*limestone dust*), abu terbang, semen (PC), abu tanur semen dan abu batu serta harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bahan yang mengganggu (Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum, 2018. Hal : 56). Pada penelitian ini bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah abu cangkang cue dan bahan perbandingannya adalah semen *Portland.*

2.5.1 Cangkang cue (siput air tawar)

Cangkang cue merupakan cangkang dari hewan molusca yang banyak hidup di daerah perairan muara, cue memiliki cangkang seperti ruas bambu. Umumnya, cue sebesar jari orang dewasa. Daging cue memanjang memenuhi cangkang. Cankang cue ini di duga hampir menyerupai cangkang lokan yaitu dari segi kandungan kimianya yang hampir sama dengan semen yaitu mengandung kalsium karbonat (CaCO3) yang apabila dipanaskan akan berubah menjadi CaO dan melepaskan CO2 ke udara, sehingga yang tersisa hanya CaO (kapur tohor) dan Si (Silika) dimana kandungan tersebut merupakan komponen pembentuk semen selain Fe2O3 (esentia, 2014 dalam veranita 2019). Keinginan untuk membuat inovasi baru kaena cangkang cue yang dijadikan sebagai *filler* memiliki sifat yang hampir sama dengan semen, untuk kandungan cangkang cue atau berat jenis di ambil dari penelitian terdahulu yang mengenai siput karena cue juga salah satu dari golongan siput dan memiliki kandungan kimia yang sama dalam golongan siput. Pemeriksaan sifat fisis dapat dilihat pada lampiran B, Tabel 4.6 sampai Tabel 4.7 pada halaman 65. Adapun gambar cangkang cue dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1 Gambar Cangkang Cue

2.5.2 Semen *porland*

Semen *Portland* dibuat dari batu kapur (*limestone*) dan mineral yang lainnya, dicampur dan dibakar dalam sebuah alat pembakaran dan sesudah itu didapat bahan material yang berupa bubuk. Bubuk tersebut akan mengeras dan terjadi ikatan yang kuat karena suatu reaksi kimia ketika dicampur dengan air Putrowijoyo, (2006 : 6).

Komposisi senyawa kimia dari semen *portland* adalah sebagai berikut dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Komposisi Semen *Portland*

No	Oksidasi	Lambang	Kode	Presetase
1.	Calcuim Oxide	CaO	C	60-65
2.	Magnesium Oxide	MgO	M	0-5
3.	Alumunium Oxide	Al2O3	A	4-8
4.	Ferrie Oxide	Fe2O3	F	2-5
5.	Sillicon Oxide	SiO2	S	20-24
6.	Sulfur Oxide	SI3	S	1-3

Sumber: Putrowijoyo, 2006

2.6 Aspal

Aspal adalah material *thermoplastis* yaitu mencair jika dipanaskan dan kembali membeku jika temperatur turun. Sifat ini digunakan dalam proses konstruksi perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan

berkisar antara 4 - 10% berdasarkan berat campuran, atau 10 - 15% berdasarkan volume campuran.Sukirman, (2016 : 1).

Campuran perkerasan adalah sebagai bahan pengikat antar aspal dan agregat dan antara sesama aspal, sebagai bahan pengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada dalam butir agregat itu sendiri dan sebagai pelumas pada saat penghamparan di lapangan sehingga memudahkan untuk dipadatkan.

Umumnya aspal keras yang digunakan untuk campuran aspal panas di indonesia untuk aspal beton adalah aspal jenis pen 60/70. Aspal jenis pen 60/70 yang baik harus memenuhi syarat yang telah ditetapkan Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum (2018) disajikan dalam Tabel 2.4. Aspal keras yang dipakai harus tidak mengandung air dan bila dipanaskan sampai dengan 175ºC tidak mengeluarkan busa.

Tabel 2.4 Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70.

Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Pen 60/70		Satuan
		Min.	Maks.	
Penetrasi 25ºC, 5 detik	SNI 06-2456-1991	60	79	0,1 cm
Titik lembek (*ring ball*)	SNI 06-2434-1991	48	58	^{o}C
Titik nyala (*clev. oven cup*)	SNI 06-2433-1991	200	-	^{o}C
Kehilangan berat 163ºC, 5 jam	SNI 06-2440-1991	-	0,8	% berat
Daktilitas 25ºC, 5 cm/menit	SNI 06-2432-1991	100	-	cm
Kelarutan (C_2HCl_3)	PA 0305-76	99	-	% berat
Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 06-2456-1991	54	-	% semula
Daktilitas setelah kehilangan berat	SNI 06-2432-1991	50	-	cm
Berat Jenis 25ºC	SNI 06-2441-1991	1	-	

Sumber : Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum (2018)

2.7 *Sifat Fisis Aspal*

Menurut Sukirman, 2003. (Hal : 27-38) dalam campuran perkerasan jalan banyaknya kadar aspal berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume campuran. Aspal memiliki fungsi utama yaitu membungkus atau menyelimuti butiran agregat dan mengisi pori-pori antar agregat, oleh karena itu dilakukanlah pemeriksaan sifat fisis aspal.

2.7.1 Berat jenis aspal

Sukirman, 2016. Hal : 82, menyatakan bahwa berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi sama pada suhu 25°C. Tujuan dari Pengujian ini untuk mengukur berat jenis aspal dengan menggunakan piknometer berdasarkan perbandingan berat di udara dan dalam air.

2.7.2 Penetrasi aspal

Pengujian kekerasan aspal dilakukan dengan pengujian penetrasi. Penetrasi adalah masuknya jarum penetrasi ukuran tertentu beban tertentu dan waktu tertentu kedalam aspal pada suhu tertentu. Jarum penetrasi yang digunakan berdiamater 1 mm dan beban 50 gr. Berat jarum dengan beban menjadi 100 gram. Pengujian dilakukan pada suhu 25°C, Sukirman, 2003. (Hal : 35-37).

Hasil Pengujian ini selanjutnya dapat digunakan dalam pekerjaan pengendalian mutu aspal keras untuk keperluan pembangunan atau pemeliharaan jalan. Pengujian penetrasi ini mengacu kepada SNI-06-2456-1991.

2.7.3 Daktilitas aspal

Daktilitas aspal adalah nilai keelastisitasan aspal, yang diukur dari jarak terpanjang, apabila antara dua cetakan berisi bitumen keras yang ditarik sebelum putus pada suhu 25°C dan dengan kecepatan 50 mm/menit. Prosedur pengujian mengikuti SNI-06-2440-1991. Sukirman, 2016. (Hal : 18).

2.7.4 Titik lembek

Pengujian kepekaan aspal terhadap temperatur dilakukan melalui pengujian titik lembek. Titik lembek merupakan temperatur pada saat bola baja dengan berat tertentu, mendesak turun lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada jarak 25,4 mm, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu. Maka pengujian titik lembek harus diuji dengan cara uji yang baku, (Sukirman, 2003. Hal : 43).

2.7.5 Kelekatan aspal terhadap batuan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menetapkan persentase kelekatan aspal pada batuan tertentu dalam air. Kesimpulan berdasarkan hasil pemeriksaan kelekatan aspal terhadap batuan didapat persentase sebesar 96% dan sesuai standar SNI 2439:2011.

2.8 Kadar aspal tengah/rencana

Kadar aspal total dalam campuran adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antara agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk kedalam pori masing-masing butir agregat. maka untuk rancangan campuran dilabotarium dipergunakan kadar tengah/ideal dari rentang kadar aspal dalam spesifikasi campuran dengan mengunakan (rumus PB).

Menurut (Sukirman, 2016:128) menghitung perencanaan kadar aspal menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Perkiraan kadar aspal rancangan dapat diperoleh dari rumus dibawah ini :

$$P_b = 0{,}035(\%CA) + 0{,}045(\%FA) + 0{,}18(Filler) + \text{Konstanta} \qquad (2.1)$$

Dimana :

P_b = Kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran;

CA = Agregat kasar tertahan saringan no. 4;

FA = Agregat halus lolos saringan no. 4 dan tertahan saringan no.200;

Filler = *Filler* adalah agregat minimal 75% lolos saringan no. 200;

Nilai konstanta sekitar 0,5 untuk penyerapan agregat yang rendah dan 1,0 untuk penyerapan agregat yang tinggi.

2. Dengan cara membulatkan nilai PB sampai 0,5 % terdekat. Jika hasil perhitungan diperoleh 5,67 % maka dibulatkan menjadi 6 %.

2.9 Aspal Beton *(Asphalt Concrete)*

Menurut Sukirman (2016 :77), laston adalah aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal juga dengan nama AC *(Asphalt Concrete)*. Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Lapisan aspal beton terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu. Bahan Laston terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* jika diperlukan) dan aspal keras.

2.10 Parameter *Marshall Test*

Pengujian dengan metode dan alat *marshall* pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall, Mississipi State Highway Departement pada tahun 1948 dan selanjutnya dikembangkan oleh U.S Corps of Engineer. Alat *marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (5000 lbf) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas dan *flowmeter* untuk mengukur kelelehan plastis atau *flow*. Benda uji *marshall* berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm), (Sukirman, 2016. Hal : 100).

Pemeriksaan ini untuk memastikan apakah campuran telah memenuhi persyaratan-persyaratan yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga atau Departemen Pekerjaan Umum. Syarat dan ketentuan parameter *marshall* untuk lapisan AC-BC dapat dilihat pada Tabel 2.5 di bawah ini :

Tabel 2.5. Ketentuan Sifat-sifat Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran	Spesifikasi Laston (AC-BC)
Berat volume *(density)*	Min 2 gr/cm^3
Stabilitas	Min 800 kg
Kelelehan plastis (*flow*)	2-4 mm
Rongga dalam campuran (VIM)	3,5-5,5 %
Persen rongga terisi aspal (VFB)	65 %
Persen rongga antar butir agregat (VMA)	15 %
Marshall quotient	Min 250 kg/mm
Durabilitas	$\geq$ 90%

Sumber : Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum (2018)

a. Berat volume (*density*)

Density adalah perbandingan antara berat kering benda uji dengan volumenya. *Density* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$g = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

Dimana :

g = Density benda uji (gram/cm³);

c = Berat benda uji di udara (gram);

f = Volume benda uji (cm³).

b. Stabilitas

Salah satu karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas. Menurut Sukirman, 2016. (Hal:77), stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur atau *bleeding*. Kebutuhan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani.

Sukirman, 2016. (Hal:77), menyatakan hasil pembacaan dial alat *marshall*, nilai stabilitas harus dikalikan dengan kalibrasi alat dan faktor koreksi benda uji sehingga besar stabilitas dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$S = p \times q \times r \quad (2.3)$$

Dimana :

S = Nilai stabilitas;

p = Kalibrasi alat;

q = Pembacaan dial *marshall;*

r = Koreksi benda uji.

c. Kelelehan plastis (*flow*)

Sukirman, 2016. (Hal:107), menyatakan bahwa kelelehan plastis atau *flow* adalah keadaan perubahan bentuk benda uji campuran aspal beton saat akan runtuh yang didapat dari pembacaan dial flow pada alat *marshall*.

d. Rongga dan campuran (VIM)

Menurut Sukirman, 2016. (Hal : 88), *voids in mix* (VIM) atau persen rongga dalam campuran adalah perbandingan antara volume rongga-rongga udara

dengan volume benda uji. Persen rongga dalam campuran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$n = 100 - 100 \times \frac{g}{h} \quad (2.4)$$

Dimana :

n = Kadar VIM (%) ;

g = Density benda uji (gram/cm³);

h = Berat jenis maksimal (%).

= 100 : (% agregat/Bj + % aspal/Bj)

e. Persen rongga terisi aspal (VFA)

Voids filled with Asphal (VFA) atau rongga terisi aspal adalah perbandingan antara rongga-rongga yang terisi aspal dengan volume benda uji (Sukirman, 2016. Hal 88). VFB dapat dihitung dengan persamaan

$$m = 100x\frac{i}{l} \quad (2.5)$$

Dimana :

m = Persen rongga terisi aspal;

i = (b x g)/Bj aspal;

b = Persen aspal terhadap campuran;

g = Berat benda uji (gram);

l = 100 – j;

j = (100 – b) . g/ Bj aspal .

f. Persen rongga antar butir agregat (VMA)

Menurut Sukirman 2016. (Hal: 86), *voidsin mineral agregate* atau rongga antara butiran agregat merupakan volume rongga antar butir agregat, dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$I = 100 - j \quad (2.6)$$

Dimana :

I = Persen rongga antar butir agregat;

j = (100 – b) . g/ Bj aspal;

b = Persen aspal terhadap campuran;

g = Berat benda uji (gram).

g. Marshall quotient

Menurut Sukirman,2016. (Hal:102-104), *marshall quotient* adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai *flow*. *Marshall quotient* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$MQ = \frac{S}{flow} \quad (2.7)$$

Dimana:

MQ = *Marshall quotient* (kg/mm);

S = Stabilitas *marshall* (kg);

flow = Pembacaan *dial flow* (mm).

h. Durabilitas

Durabilitas (keawetan) merupakan kemampuan beton aspal (campuran beraspal padat) menerima repitisi beban lalu lintas, gesekan, serta keausan akibat cuaca dan iklim, Sukirman, 2016. (Hal:78). Durabilitas beton aspal dipengaruhi ketebalan film aspal, banyaknya pori kepadatan dan kekedapan campuran. Besarnya pori didalam campuran setelah pemadatan, berpengaruh terhadap keawetan.

Rasio antara stabilitas benda uji direndam selama 24 jam pada suhu 60°C, dengan benda uji yang direndam selama 30 menit pada suhu yang sama disebut durabilitas sisa (*retained stability*). Campuran beraspal dikategorikan awet (*durable*), bila nilai stabilitas sisa ≥ 90% dari stabilitas normal (Sukirman, 2016 (Hal : 78).

I. Kadar aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Kadar aspal optimum yang baik adalah kadar aspal yang memenuhi semua sifat campuran yang di inginkan dalam rentang kadar aspal optimum ± 0,5%. Sukirman (2016)

2.11 Analisis Data

Untuk menganalisa data, selanjutnya digunakan bentuk hubungan dua variabel untuk dipakai analisis regresi. Analisis regresi digunakan untuk menganalisis hubungan antara variasi *filler* semen dan abu cangkang cue yang dipakai dengan parameter-parameter Marshall. Untuk mendapatkan persamaan garis atau kurva yang mewakili dua variabel yang akan dicari hubungannya, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data dari hasil pengujian.

Data yang diperoleh dari pengujian Marshall masing-masing diplot pada suatu sumbu salib dan akan membentuk titik pencar yang disebut diagram pencar *(Scatter plot).* Data parameter Marshall, merupakan variabel terikat (sumbu y) dan kadar aspal yang dipakai merupakan variabel bebas (sumbu x). Garis atau kurva pendekatan yang mewakili titik-titik dalam diagram pencar dapat berupa garis lurus (linier) maupun garis lengkung *(non linier).* Beberapa bentuk regresi yang ada diantaranya adalah regresi non linier berganda orde 2 ;

$$y = a_0 + a_1x + a_2x \ .$$

Untuk perhitungan nilai koefisien dari persamaan di atas dapat dihitung berdasarkan persamaan aljabar matrik, misalkan untuk a_0, a_1,dan a_2 yaitu:

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ao \\ a1 \\ a2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \end{bmatrix}$$

dengan koefesien determinasi (R^2)

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{N} (y_1 - y_i)^2 - \sum_{i=1}^{N} \left(y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 \right)^2 \right)}{\sum_{i=1}^{N} \left(y_1 - \bar{y} \right)^2}$$

dimana :

R^2 = koefisien determinasi;

y_i = nilai parameter hasil pengukuran;

$\bar{y}$ = nilai parameter hasil regresi.

Dengan menyelesaikan persamaan aljabar matrik di atas, nilai masing-masing koefisien a_0, a_1,dan a_2 didapat sehingga diperoleh persamaan kurva hubungan antara variabel terikat (y) dengan variabel bebas (x). Sedangkan untuk mendapatkan persamaan yang sesuai dari model-model regresi untuk analisis data penelitian adalah yang menghasilkan koefisien determinasi (R-square) yang

paling besar (mendekati 1).

R squared merupakan angka yang berkisar antara 0 sampai 1 yang mengindikasikan besarnya kombinasi variabel independen secara bersama – sama mempengaruhi nilai variabel dependen. Semakin mendekati angka satu, model yang dikeluarkan oleh regresi tersebut akan semakin baik. Secara manual, R squared merupakan rumus pembagian antara Sum Squared

$$R^2 = \frac{SSR}{SST},$$

Regression dengan Sum Squared Total.

SSR : Kuadrat dari selisih nilai Y prediksi dengan nilai rata-rata Y $= \sum (Y_{pred} - Y_{rata\text{-}rata})^2$

SST : Kuadrat dari selisih nilai Y aktual dengan nilai rata-rata Y = $\sum (Y_{aktual} - Y_{rata\text{-}rata})^2$

Jika melihat rumus tersebut, sebenarnya R squared tidak hanya bisa digunakan pada regresi saja, melainan kita dapat menggunakan rumus tersebut di semua model untuk menentukan kebaik atau tidaknya model tersebut. Misalnya model pada rumus time series, jika anda ingin menggunakan indikator lain selain MSE, SSE pada time series, anda bisa menggunakan R squared ini sebagai tambahan untuk memperkuat dari model yang sudah anda dapatkan.

Kembali lagi pada topik regresi, jika kita perhatikan rumus R squared diatas sangat dipengaruhi oleh nilai Y prediksi atau nilai Y dari hasil rumus dengan nilai Y aktual. Kenyataan yang sering muncul adalah nilai R squared akan semakin membaik (nilainya akan terus mendekati nilai 1) jika kita menambah variabel. Semakin banyak jumlah variabel yang menentukan nilai Y prediksi, maka nilai SSR akan semakin besar yang berakibat pada besarnya nilai R squared.

Sifat R-squared yang akan semakin baik jika menambah variabel inilah yang menjadi kelemahan dari R squared itu sendiri. Semakin banyak variabel independen yang digunakan maka akan semakin banyak “noise” dalam model tersebut dan ini tidak dapat dijelaskan oleh R squared.

2.12 Penelitian Terdahulu

Kajian yang pernah dilakukan sebelumnya tentang penggunaan abu kerang cue sebagai material campuran beraspal antara lain :

1. Hasil penelitian Advanty Esentia (2016) mengenai Pengaruh Pergantian Sebagian *Filler* Semen Dengan Kombinasi 40 % Serbuk Batu Bata Dan 60% Abu Cangkang Lokan Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC). didapat sifat Marshall KAO 6%, diperoleh nilai stabilitas 843,683 kg, flow 3,22 mm, VMA 16,522%, VFA 75,867%, VIM 4,099% ,MQ 265,981kg/mm. Pada kondisi KAO 5,75% dengan komposisi *filler* 50:50, diperoleh nilai stabilitas 853,007 kg, flow 3,46 mm, VMA 16,49%, VFA 72,349%, MQ 251,31 kg/mm. Pada kondisi KAO 6,5% pada komposisi *filler* 0:100 diperoleh nilai stabilitas 926,454 kg, flow 3,69 mm, VMA 16,662%, VFA 80,782%, VIM 3,226% dan MQ 254,800 kg/mm.

2. Hasil penelitian Nunung Widyaningsih1 (2019) mengenai Pengaruh Variasi Kadar *Filler* Abu Cangkang Kerang Terhadap Parameter Marshall Di Lapisan Laston AC-WC menyimpulkan bahwa benda uji campuran normal dengan aspal optimum didapat sifat Marshall dan nilai KAO dan pengujian benda uji dengan filler abu cangkang kerang untuk menghasilkan parameter Marshall dan nilai kadar *filler* optimum. Pengujian yang dilakukan pada campuran lapis AC-WC didapat nilai KAO sebesar 6,2% dan nilai kadar *filler* optimum 5,2%. Nilai stabilitas dengan 7% *filler* abu cangkang kerang didapat 4810.787 kg dengan perendaman benda uji selama 30 menit dan 4203.7 kg dengan 7% *filler* abu cangkang kerang dengan perendaman benda uji selama 24 jam pada suhu 60 °C.

3. Hasil penelitian Veranita (2019) mengenai Pengaruh Pemberian *Filler* Abu Cangkang Lokan Terhadap Parameter Marshall Pada Campuran Aspal Beton. Hasil penelitian menunjukan bahwa penggunaan *filler* variasi 20/80% memiliki nilai durabilitas 107,2 kg, variasi 0/100% memiliki nilai durabilitas 119,2 kg dan variasi 50/50% memiliki nilai durabilitas 120,7 kg. Untuk penggunaan filler serbuk kulit kerang variasi 50/50% mempunyai nilai

durabilitas sebesar 120,7 kg. Dengan demikian nilai durabilitas penggunaan *filler* serbuk kulit kerang secara teknis dapat dipertimbangkan untuk diterapkan pada lapisan permukaan jalan sebagai bahan material filler pengganti/alternatif.

4. Hasil penelitian Rika Sylviana (2016) mengenai Perbandingan Nilai Stabilitas Penggunaan *Filler* Serbuk Kulit Kerang Dengan Abu Batu Pada Campuran Beton Aspal. Hasil penelitian menunjukan bahwa penggunaan filler 4% memiliki nilai stabilitas 1313,79 kg (serbuk kulit kerang), dan 1522,30 kg (batu abu). Untuk penggunaan *filler* serbuk kulit kerang 6% dan 8% mempunyai nilai stabilitas sebesar 1616,21 kg dan 1688,56 kg. Dengan demikian nilai stabilitas penggunaan *filler* serbuk kulit kerang secara teknis dapat dipertimbangkan untuk diterapkan pada lapisan permukaan jalan sebagai bahan material *filler* pengganti/alternatif.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian seperti pembuatan benda uji, perawatan dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Aceh Barat (Meulaboh). Penelitian yang akan diuji pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) adalah Marshall test dengan variasi penggantian sebagian *filler* dimana bahan utama *filler* berupa semen portland dan *filler* pengganti komposisi yang di gunakan 0:100 dan 25:75 komposisi yang digunakan ini berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Advanty Esentia (2014). Semua bahan yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada spesifikasi umum yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2018.

Secara umum pelaksanaan program kerja dan lokasi dalam penelitian ini akan dilaksanakan dengan langkah-langkah yang digambarkan dalam diagram alir penelitian dan peta lokasi penelitian dapat diliat, pada Gambar Lampiran A 3.1. sampai Gambar A 3.4. pada halaman 49-52.

3.1. Bahan dan Peralatan Peneltian

Persiapan alat dan bahan adalah pegadaan bahan dan pelengkap untuk pengujian, adapun lokasi pegambilan bahan, *filler* dan peralatan tersebut dapat dilihat pada Lampiran A Gambar A.3.5, sampai Gambar A.3.9 halaman 53-57.

1. Bahan material yang digunakan :
   a. Agregat kasar dan halus
   b. *Filler* (Semen porland dan Abu Cangkang Cue)
   c. Aspal (Pen 60/70)

3.2 Prosedur Pelaksanaan

Prosedur pelaksanaan penelitian saya ini didapat dari data-data berupa data primer di dapat dari hasil pengujian yang dilakukan oleh peneliti sementara data

sekunder bisa di dapat dari literatur, baik dari buku–buku, jurnal-jurnal. Adapun prosedur penelitian meliputi :

1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan yaitu persiapan bahan, dan juga persiapan alat-alat yang digunakan. Persiapan bahan sebelum digunakan dan pengecekan peralatan yang dilakukan pada Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Aceh Barat. Adapun bahan yang diperlukan berupa aspal keras penetrasi 60/70, agregat kasar, agregat halus, *filler* (berupa abu cangkang cue).

2. Pengujian bahan
3. Pemeriksaan material yang digunakan mengikuti prosedur pemeriksan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan seperti tertera pada Tabel 3.1 sampai dengan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Standar Pengujian Aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian
1	Penetrasi 25^0 C (mm)	SNI 06-2456-1991
2	Titik lembek (25^0 C)	SNI 06-2434-1991
3	Daktilitas pada 25^0C (cm)	SNI 06-2432-1991
4	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991

Sumber : Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum (2018)

Tabel 3.2 Pemeriksaan karakteristik agregat

Agregat Kasar		
No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian
1	Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990
2	Berat Jenis	SNI 1969:2008
3	Penyerapan Air	SNI 1969:2008
4	Keausan Agregat	SNI 2417:2008
5	Indeks Kepipihan dan Kelonjongan	ASTM D – 4791
6	Kelekatan Agregat terhadap Aspal	SNI 2439:2011

Sumber : Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum (2018)

Tabel 3.3 Pemeriksaan karakteristik halus

Agregat Halus		
1	Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990
2	Berat Jenis	SNI 1970:2008
3	Penyerapan Air	SNI 1970:2008

Sumber : Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum (2018)

3.3 Rancangan Campuran Aspal

Rancangan campuran dalam penelitian ini menggunakan metode *Marshall*. Hal ini dikarenakan metode *Marshall* lebih mudah diaplikasikan.Adapun Langkah-langkah rancangan untuk menggunakan metode ini adalah sebagai berikut :

1. Mempelajari spesifikasi gradasi agregat campuran yang diinginkan dari Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum (2018).
2. Merancang proporsi agregat, proporsi ini ditentukan secara analitis dimana proporsi agregat tersebut dipilih dari gradasi yang sesuai SpesifikasiTeknis Departemen Pekerjaan Umum (2018) Tabel 2.2. Prinsip kerja metode analitis ini adalah dengan mementukan gradasi agregat yang dipilih kemudian menghitung jumlah butiran yang lolos dan tertahan sesuai spesifikasi yang telah ditentukan sehingga didapat komposisi agregat kasar, agregat halus dan *filler*.
3. Mendapatkan kadar aspal total dalam campuran menggunakan rumus 2.1(Hal:12). Dari perhitungan diperoleh kadar aspal rencana P dengan dua variasi kadar aspal diatas P dan dua variasi kadar aspal dibawah P (-1,0%; -0,5%; P; +0,5%; +1%).
4. Menghitung kebutuhan agregat kasar, agregat halus dan *filler* sesuai dengan komposisi yang didapat. Berat total agregat 1200 gram untuk satu benda uji.
5. Berat aspal didapat dari persen kadar aspal x 1200 gram (berat total agregat).
6. benda uji yang dibuat menggunakan variasi *filler* sesuai dengan tabel 3.1 dengan memvariasikan 6% total *filler* menjadi 2 variasi yang berbeda, yaitu: penambahan *filler* semen 0 % dan *filler* cangkang cue 6%, dan *filler* semen 1,5%, dan penambahan *filler* abu cangkang Cue 4,5% .

3.4 Pembuatan Benda Uji Marshall test

Setelah semua pemeriksaan agregat memenuhi spesifikasi, langkah selanjutnya yaitu melakukan rancangan campuran (*mix design*) untuk mendapatkan komposisi agregat dan kadar aspal. Bahan-bahan yang digunakan dalam campuran benda uji yaitu agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Agregat dan *filler* ditimbang sesuai ukurannya berdasarkan gradasi yang diinginkan. Berat total agregat campuran adalah berat agregat yang dapat menghasilkan satu benda uji padat setinggi 6,35 cm dengan diameter 10,2 cm. Umumnya berat agregat campuran adalah ± 1200 gram.

Prosedur pembuatan benda uji untuk campuran aspal adalah :

1. Pembuatan Filler Abu Cangkang Cue

   Cangkang cue yang diambil dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian siapkan alat pembakaran untuk cangkang cue berupa kayu bakar, bambu dan pelepah kelapa. Cangkang cue dibakar di atas susunan bambu yang sudah disusun dengan api menyala diatas suhu 110^0C. Cangkang cue diangkat dari perapian setelah menjadi lunak dan mudah dihancurkan, hal ini bisa dilihat dari kulit cangkang yang berubah warna menjadi putih. Lama pembakaran ± 25 menit. Setelah diangkat dari perapian bambu lalu ditumbuk hingga menjadi halus, setelah penumbukan, cangkang cue disaring dengan saringan nomor 200. Abu cangkang cue yang lolos saringan nomor 200 dipakai sebagai *filler* pengganti semen.

2. Pembuatan Campuran

   Panaskan agregat dan *filler* yang diperlukan dengan cara disangrai dengan suhu diatas 110^0C. Panaskan juga aspal hingga mencapai suhu diatas 110 ^{0}C lalu timbang kadar aspal yang diperlukan dari komposisi campuran yang telah didapat, setelah itu tuangkan aspal sesuai jumlah yang dibutuhkan ke dalam agregat dan *filler*. Aduk campuran hingga merata.

3. Pemadatan campuran

   Setelah campuran aspal tercampur merata diatas suhu 110^0C, pindahkan kedalam cetakan yang telah dilapisi kertas saring yang bagian dasarnya

telah dilapisi kertas dan ditusuk-tusuk pada pinggir cetakan dan bagian tengah cetakan yang telah terisi campuran. Lepaskan leher cetakan, ratakan permukaan campuran dengan sendok semen sehingga menjadi sedikit cembung. Letakan cetakan diatas alat pemadat kemudian ditumbuk sebanyak 75 kali. Setelah selesai cetakan dibalik dan dilakukan penumbukan kembali sebanyak 75 kali.

4. Perawatan Benda Uji

Benda uji yang telah dipadatkan dikeluarkan dari cetakan dengan dongkrak hidrolik (*extruder*) dengan meletakkan pelat pengeluar benda uji pada bagian atas cetakan dan lepaskan pelat dasar cetakan. Keluarkan benda uji dengan hati-hati dan rendam benda uji selama kurang lebih 1 hari. Jumlah keseluruhan benda uji yang diteliti adalah 42 benda uji, yaitu 30 buah benda uji unt uk menentukan kadar aspal optimum (KAO) dan 12 benda uji untuk Stabilitas dan durabilitas.

Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Kadar aspal optimum yang baik adalah kadar aspal yang memenuhi semua sifat campuran yang di inginkan dalam rentang kadar aspal optimum ± 0,5%. Menurut Sukirman (2003),

1. Benda uji untuk mencari KAO

Untuk mengetahui nilai KAO, 30 benda uji diuji *Marshall*. Hal ini bisa dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Komposisi dan Jumlah Pembuatan Benda Uji

No	Kadar Aspal (%)	Jumlah Benda Uji Pada Setiap Perbandingan Semen dan Abu Cangkang Cue	
		0:100	25:75
1	P = 5	3	3
2	P = 5,5	3	3
3	P = 6	3	3
4	P = 6,5	3	3
5	P = 7	3	3
Jumlah benda uji		30 buah benda uji	

2. Benda uji Durabilitas

Kadar aspal optimum yang diperoleh akan digunakan pada pencampuran benda uji tahap kedua untuk pengujian Stabilitas dan Durabilitas sebanyak 12

benda uji yaitu 6 benda uji untuk Stabilitas dengan rendaman 30 menit di dalam waterbad dan 6 benda uji untuk Durabilitas dengan rendaman 24 jam di dalam waterbad, lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini :

Tabel 3.5 Jumlah Benda Uji Durabilitas.

Benda Uji	Jumlah Benda Uji Pada Setiap Perbandingan Semen dan Abu Cangkang Cue	
	0:100	25:75
Stabilitas	3	3
Durabilitas	3	3
Jumlah Bunda Uji	12 Buah Benda Uji	

3. Pengujian dengan alat *Marshall*

Pemeriksaan ini untuk menentukan ketahanan (*stabilitas*) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal. Pengujian ini dilaksanakan di labotarium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. Alat yang digunakan adalah alat uji marshall lengkap dial stabilitas dan Flow, bak perendaman (*Water bath*), thermometer, jangka sorong dan timbangan.Langkah-langkah pengujian marshall antara lain sebagian berikut:

a. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu 60 ºC ± 1 ºC selama 30 hingga 40 menit;
b. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian;
c. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, letakkan benda uji tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut tepat di tengah alat pembebanan, arloji kelelehan dipasang pada dudukan diatas salah satu batang penuntun. Dengan catatan bahwa waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari bak perendam ke kepala penekan tidak boleh melebihi 30 detik.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan pengolahan data serta hasil pengujian dan diajukan dengan pembahasan yang didasarkan dari hasil penelitian dilabotarium dengan menggunakan metode yang dipaparkan pada Bab II dan III.

4.1 Hasil

Hasil penelitian yang disajikan adalah tabel-tabel hasil pemeriksaan dan hasil-hasil pengujian serta grafik-grafik yang menyatakan hubungan antara variasi *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue dengan campuran aspal Pen 60/70.

4.1.1 Penentuan kadar aspal optimum dengan pengujian *marshall test*

Data yang dihasilkan dari pengujian *marshall* berupa nilai stabilitas, *density*, *flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ. Nilai KAO didapat dengan membuat 30 benda uji kadar aspal tengah dan dilakukan pengujian *marshaall test*. Perbandingan disetiap benda uji untuk 2 variasi berbeda yaitu, variasi *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue 0:100 dan 25:75 pada campuran AC-BC. Hasil pemeriksaan untuk mendapatkan nilai KAO serta mixdesain dapat dilihat pada Lampiran Tabel B4.8 dan tabel 4.14 Halaman 66-69.

Perhitungan rekapitulasi pengujian parameter *marshall* untuk nilai KAO degan variasi *filler* Semen dan Cue dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

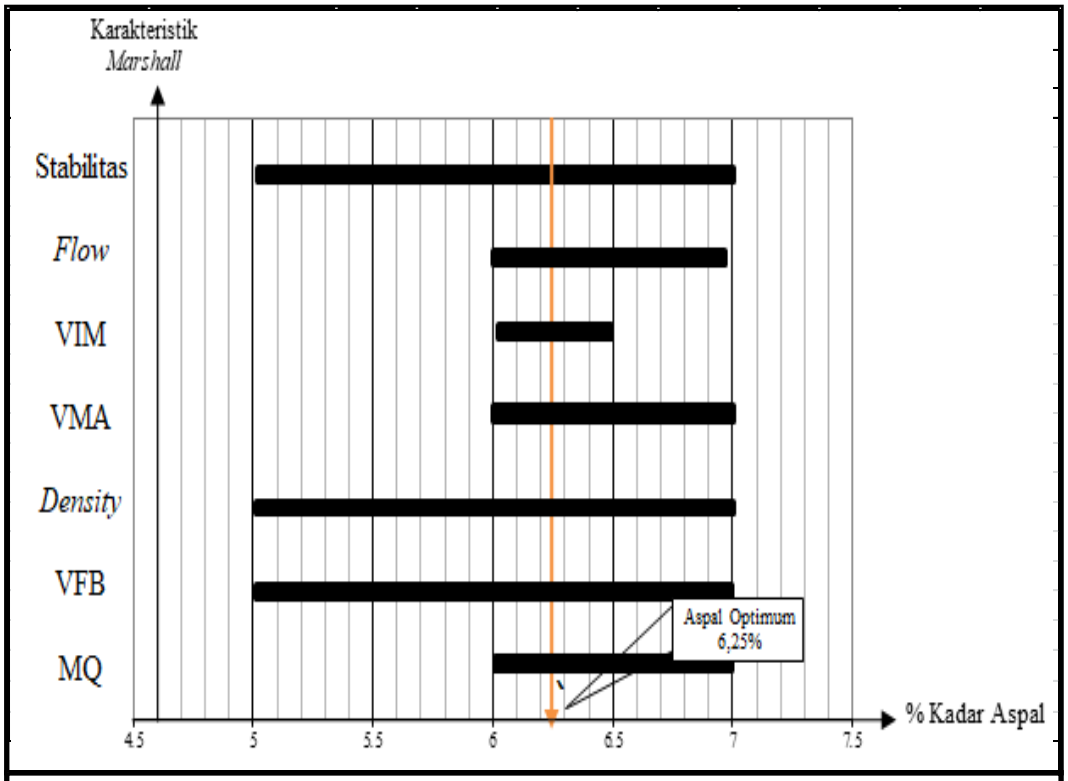
Tabel 4.1 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* untuk Mencari Nilai Kadar Aspal Tengah Variasi 0:100 pada Campuran AC-BC 1/2

No	Karakteristik	Kadar Aspal					Spesifikasi
		5	5,5	6,0	6,5	7,0	
1	Stabilitas	889.44	989.61	1132.03	1171.01	1240.32	Min 800 Kg
2	*Flow*	5.13	4.37	3.80	3.70	3.40	Min 2-4 mm
3	VIM	3.39	3.41	4.31	5.14	6.97	3.5-5.5 %
4	VMA	13.26	14.20	15.91	17.53	20.13	Min 15 %

Tabel 4.1 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* untuk Mencari Nilai Kadar Aspal Tengah Variasi 0:100 pada Campuran AC-BC 2/2

No	Karakteristik	Kadar Aspal					Spesifikasi
		5	5,5	6,0	6,5	7,0	
5	*Density*	2.41	2.37	2.36	2.33	2.27	Min 2 gr/cm3
6	VFB	74.47	76.07	72.92	70.71	65.13	Min 65 %
7	MQ	174.02	230.25	298.50	318.43	365.90	Min 250 kg/mm

Rekapitulasi nilai kadar aspal tengah pengujian *Marshall* dengan variasi *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue pada Campuran AC-BC yang memenuhi spesifikasi adalah KAO 6,25%. Selanjutnya nilai setiap pengujian *marshall* yang memenuhi spesifikasi disajikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.1.



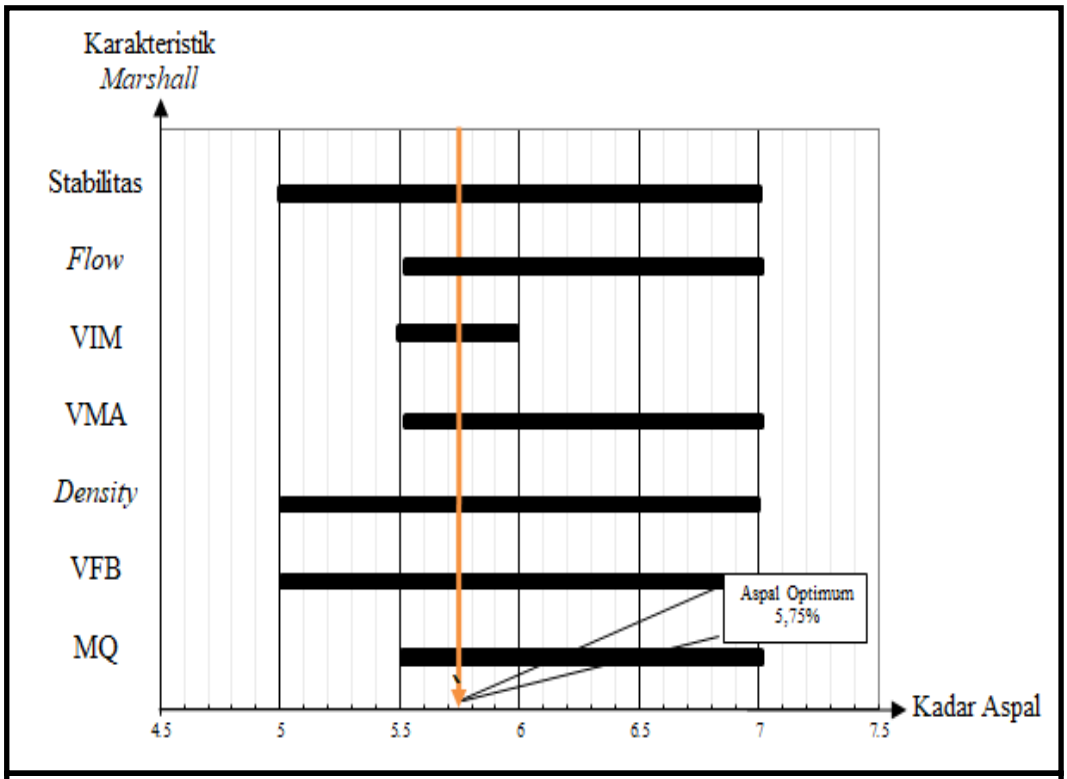
Gambar 4. 1 Grafik Nilai KAO Marshall Variasi 0:100

Nilai Kadar Aspal tengah pada pengujian marshaall untuk Variasi 0:100 dapat dilihat pada Tabel 4.2:

Tabel 4.2 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* untuk Mencari Nilai Kadar Aspal Tengah Variasi 25:75 pada Campuran AC-BC

No	Karakteristik	Kadar Aspal					Spesifikasi
		5	5,5	6,0	6,5	7,0	
1	Stabilitas	951.20	1150.34	1126.19	1157.92	1193.17	Min 800 Kg
2	*Flow*	6.27	3.93	3.77	3.73	3.33	Min 2-4 mm
3	VIM	3.28	4.46	4.93	5.80	6.32	3.5-5.5 %
4	VMA	13.16	15.14	16.46	18.11	19.48	Min 15 %
5	*Density*	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	Min 2 (gr/m3)
6	VFB	75.15	70.54	70.06	67.96	67.47	Min 65 %
7	MQ	152.17	292.52	299.73	311.27	360.35	Min 250 kg/mm

Hasil pengujian parameter *Marshall* campuran AC-BC untuk Variasi 25:75 pada kadar aspal optimum (KAO) disajikan pada sub bab ini. Nilai parameter *Marshall* dari variasi persentase Variasi 25:75 yang memenuhi spesifikasi adalah KAO 5,75%. Selanjutnya nilai setiap pengujian *marshall* yang memenuhi spesifikasi disajikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4. 2 Grafik Nilai KAO Marshall Variasi 25:75

Presentasi pengujian *marshall* untuk nilai kadar aspal optimum (KAO) masing-masing variasi Semen dan Abu Cangkang Cue pada lapisan AC-BC dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum (KAO)

No	Variasi Semen dan Abu Cangkang Cue	Kadar Aspal Optimum (KAO)
1	0:100	6,25%
2	25:75	5,75%

4.1.2 Pemeriksaan dan perhitungan gradasi

Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan analisa saringan. Gradasi dalam penelitian ini digunakan adalah gradasi rapat/gradasi menerus. Hasil gradasi yang gradasi rapat/gradasi menerus diperoleh diperlihatkan pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Gradasi Agregat

Ukuran Ayakan		Gradasi Rencana			Akumulasi (%)
		Laston (AC)			
ASTM	(mm)	BC	%Lolos	%Tertahan	
1½”	37,5	-	-	-	45
1”	25	100	100	00	
¾”	19	90-100	95	5,0	
½”	12,5	75-90	83	12,5	
3/8”	9,5	66-82	74	8,5	
No.4	4,75	46-64	55	19,0	
No.8	2,36	30-49	40	15,5	49
No.16	1,18	18-38	28	11,5	
No.30	0,6	12-28	20	8,0	
No.50	0,3	7-20	14	6,5	
No.100	0,15	5-13	9	4,5	
No.200	0,075	4-8	6	3	
Filler				6	6

Berdasarkan Tabel 4.4 di atas diperoleh agregat kasar sebanyak 45%, agregat halus sebanyak 49%, dan *filler* sebanyak 6 %. Persentase agregat halus dan kasar pada gradasi rencana dijadikan pedoman untuk perhitungan masing-masing nilai KAO dan variasi yang didapatkan. Nilai KAO dan variasi berdasarkan Tabel 4.3 mimiliki nilai KAO yang berbeda yaitu untuk variasi 0:100 didapat nilai KAO 6,25% dan untuk variasi 25:75 didapat nilai KAO 5,57%. Hasil perhitungan gradasi nilai KAO 6,25% dan 5,75% dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Gradasi Kadar Aspal Optimum (KAO)

Ukuran Ayakan		`Kadar Aspal Optimum				Satuan
ASTM	(mm)	6,25		5,75		
		Variasi 0:100		Variasi 25:75		
1"	25	0		0		
3/4"	19	56.25		56.55		
1/2"	12,5	140.63		141.38		gr
3/8"	9,5	95.63		96.14		gr
No.4	4,75	213.75		214.89		gr
No.8	2,36	174.38		175.31		gr
No.16	1,18	129.38		130.07		gr
No.30	0,60	90.00		90.48		gr
No. 50	0,30	73.13		73.52		gr
No. 100	0,15	50.63		50.90		gr
No.200	0,075	33.75		33.93		gr
Total persen agregat tertahan		1049,1		1063.14		gr
Filler		72,9		67.86		gr
Berat Agregat (gr)		1122,0		1114.0		gr
Berat Total Aspal (gr)		78,0		69		gr
Variasi Filler Semen : Cue 0 : 100		16.88	50.63	16.96	50.89	gr
Total Berat Campuran (gr)		1200		1200		gr

4.1.3 Hasil pengujian *marshall* untuk variasi *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue pada KAO

Hasil pengujian parameter *Marshall* untuk campuran AC-BC dengan variasi *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue 0:100 dan 25:75 pada kadar aspal optimum (KAO) disajikan pada pada sub bab ini.

1. Benda uji pada lapis AC-BC

Hasil pengujian dan perhitungan kadar aspal optimum rendaman 30 dan rendaman 24 jam pada parameter *marshall* campuran AC-BC dengan variasi *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue 0:100 dan 25:75, selengkapnya disajikan pada Lampiran B.4.6 dan B.4.7 Halaman 69. Untuk rekapitulasi hasil pengujian *marshall* rendaman 30 menit dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* pada Rendaman 30 Menit

No	Karakteristik	Variasi		Spesifikasi
		0:100	25:75	
1	Stabilitas	1237.310	1348.685	Min 800 Kg
2	*Flow*	3.87	3.47	Min 2-4 mm
3	VIM	4.09	5.83	3.5-5.5 %
4	VMA	16.17	16.80	Min 15 %
5	*Density*	2.36	2.33	Min 2 (gr/m3)
6	VFB	74.72	65.38	Min 65 %
7	MQ	321.755	395.790	Min 250 kg/mm

Nilai rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* rendaman 24 jam dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* pada Rendaman 24 Jam

No	Karakteristik	Variasi		Spesifikasi
		0:100	25:75	
1	Stabilitas	1185.74	1255.99	Min 800 Kg
2	*Flow*	3.8	3.2	Min 2-4 mm
3	VIM	3.11	5.35	3.5-5.5 %
4	VMA	15.32	16.38	Min 15 %
5	*Density*	2.38	2.34	Min 2 gr/m3
6	VFB	79.74	67.44	Min 65 %
7	MQ	313.74	393.08	Min 250 kg/mm

4.1.4 Hasil pengujian nilai durabilitas

Berdasarkan KAO dari masing-masing perlakukan dengan spesifikasi gradasi yang sama dibuat 3 (tiga) buah benda uji masing-masing 2 variasi, variasi *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue 0:100 dan 25:75 dengan perendaman 30

menit dan perendaman 24 jam di *water bath* pada suhu 60°C. Nilai durabilitas diperoleh dari perbandingan antara stabilitas normal dan stabilitas rendaman 24 jam. Hasil rekapitulasi nilai durabilitas dapat dilihat pada tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4.8 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Nilai Durabilitas

No	**Komposisi Variasi**	**Kadar Aspal**	**Stabilitas Rendaman 30 menit**	**Stabilitas Rendaman 24 Jam**	**Nilai Durabilitas (%)**
A	B	C	D	E	F=(E/D)
1	0:100	6,25	1237,31	1185,74	95,83
2	25:75	5,75	1348,68	1255,99	93,13

4.1.5 Hasil perhitungan analisis regresi parameter *marshall*

Menganalisa hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall* digunakan analisa regresi. Analisa regresi yang digunakan yaitu analisa regresi yang sesuai dengan bentuk penyebaran data atau diagram pencar yang membentuk suatu garis lengkung atau lurus *(linear).* Dalam hal ini regresi non linier (*polynomial*) dianggap paling sesuai untuk penyebaran data pada penelitian ini. Persamaan *polynomial* orde dua hasil perhitungan hubungan variasi *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue 0:100 dan 25:75. hasil perhitungan analisis regresi parameter *marshall* dapat dilihat pada Tabel 4.9-4.10 berikut.

Tabel 4.9 Persamaan *Polynomial* Hubungan Variasi Semen dan Abu Cangkang Cue Lapisan AC-WC Rendaman 30 Menit

Parameter	Persamaan *Polynomial* Order 2	R^2
Stabilitas	y = -6.2968x2 + 80.849x + 1105.5	R^2 = 0.9506
Flow	y = -0.1196x2 + 0.6946x + 3.05	R^2 = 0.8154
VIM	y = 0.0685x2 + 0.0647x + 3.6935	R^2 = 0.9846
VMA	y = 0.0608x2 - 0.1782x + 16.189	R^2 = 0.9274
Density	y = -0.0017x2 + 0.0017x + 2.3632	R^2 = 0.9958
VFB	y = -0.2602x2 - 1.0002x + 77.496	R^2 = 0.9635
MQ	y = 11.728x2 - 55.496x + 375.13	R^2 = 0.9079

Tabel 4.10 Persamaan *Polynomial* Hubungan Variasi Semen dan Abu Cangkang Cue Lapisan AC-WC Rendaman 24 jam

Parameter	Persamaan *Polynomial* Order 2	R^2
Stabilitas	y = -5.7955x2 + 66.64x + 1075.5	R^2 = 0.9384
Flow	y = -0.0929x2 + 0.47x + 3.28	R^2 = 0.832
VIM	y = 0.0514x2 + 0.355x + 2.2059	R^2 = 0.9891
VMA	y = 0.0461x2 + 0.0732x + 14.891	R^2 = 0.9545
Density	y = -0.0013x2 - 0.0054x + 2.3997	R^2 = 0.9924
VFB	y = -0.1548x2 - 2.7384x + 85.525	R^2 = 0.979
MQ	y = 9.1051x2 - 36.413x + 342.76	R^2 = 0.927

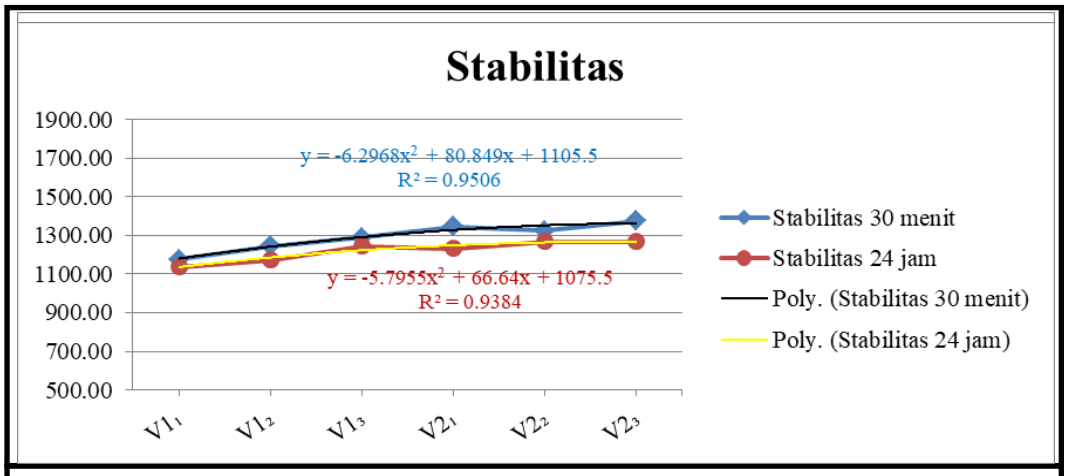
4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengolahan data dan hasil pengujian berupa campuran *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue, dapat diketahui perbandingan dari masing-masing campuran. Pembahasan ini mengenai bagaimana pengaruh penggunaan Semen dan Abu Cangkang Cue sebagai bahan penganti *filler* pada *asphalt concrete Bearing course* dan karakteristiknya. Keungulan dari cangkang cue ini di duga hampir menyerupai cangkang lokan yaitu dari segi kandungan kimianya yang hampir sama dengan semen yaitu mengandung kalsium karbonat (CaCO3) yang apabila dipanaskan akan berubah menjadi CaO dan melepaskan CO2 ke udara, sehingga yang tersisa hanya CaO (kapur tohor) dan Si (Silika) dimana kandungan tersebut merupakan komponen pembentuk semen selain Fe2O3. Lapis Pengikat (AC-BC) lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (*wearing course*) dan di atas lapisan pondasi (*base course*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekauan yang cukup untuk mengurangi tegangan/ regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawah nya yaitu *base* dan *sub grade* (tanah dasar). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas dengan penambahan cue sebagai *filler* dapat meningkatkan nilai stabilitas karena kandungan dari cue itu sendiri

hampir sama dengan kandungan pada semen. Hasil perhitungan dan keseluruhan karakteristik nilai parameter *marshall* ditinjau pada kadar aspal optimum masing-masing variasi *filler* semen dan abu cangkang cue digambarkan dalam bentuk grafik. Nilai hasil perhitungan keseluruhan data dapat dilihat pada Lampiran C Tabel C.4.1 sampai Tabel C.4.4 Halaman 70-74.

4.2.1 Stabilitas

Nilai stabilitas dibutuhkan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tetap seperti gelombang alur dan *bleding*. Nilai stabilitas AC-BC dengan menggunakan *filler* semen dan abu cangkang cue dari dua variasi diperlihatkan pada Gambar 4.3 dibawah ini.



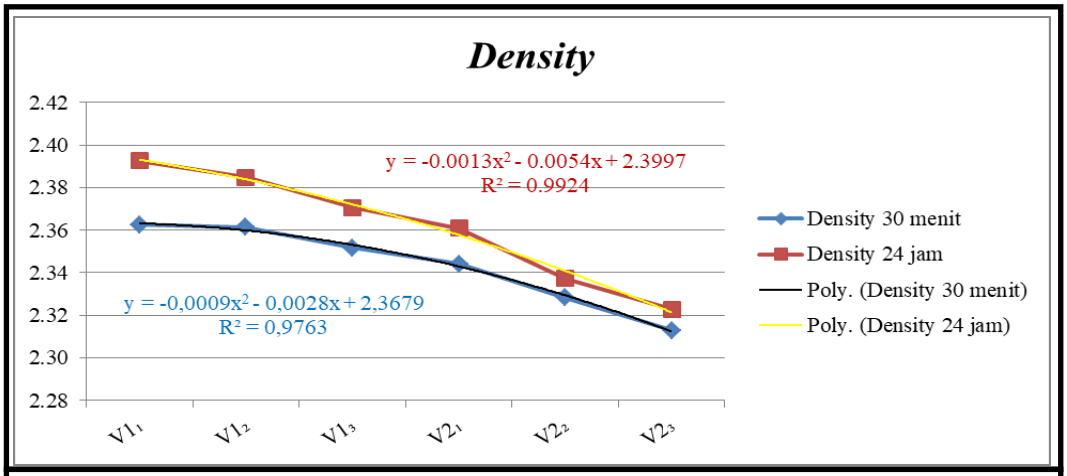
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Stabilitas

Nilai stabilitas dilihat dari Gambar 4.3 menunjukan bahwa semua nilai stabilitas memenuhi spesifikasi yang diisyratakan yaitu ≥ 800 kg. Pada rendaman 30 menit nilai stabilitas tertingi dihasilkan oleh variasi 0:100 *filler* semen dan abu cangkang cue pada benda uji ketiga dengan nilai 1289,93 kg, sedangkan pada rendaman 24 jam didapat nilai tertinggi pada benda uji pertama dengan nilai stabilitas sebesar 1375,67 kg. Nilai *stabilitas* lapis AC-BC variasi 25:75 *filler* semen dan abu cangkang cue lebih tinggi presentasenya dibandingkan pada rendaman 24 jam. Hal ini menunjukan bahwa penambahan variasi *filler* semen

dan abu cangkang cue dapat memberikan daya tahan yang lebih baik terhadap suhu tinggi maupun beban lalulintas.

4.2.2 *Density*

Density merupakan perbandingan antara berat kering dengan volume benda uji campuran beton aspal. Nilai *density* lapis AC-BC dengan *filler* semen dan abu cangkang cue dari berbagai variasi persentase benda uji diperlihatkan pada Gambar 4.4.

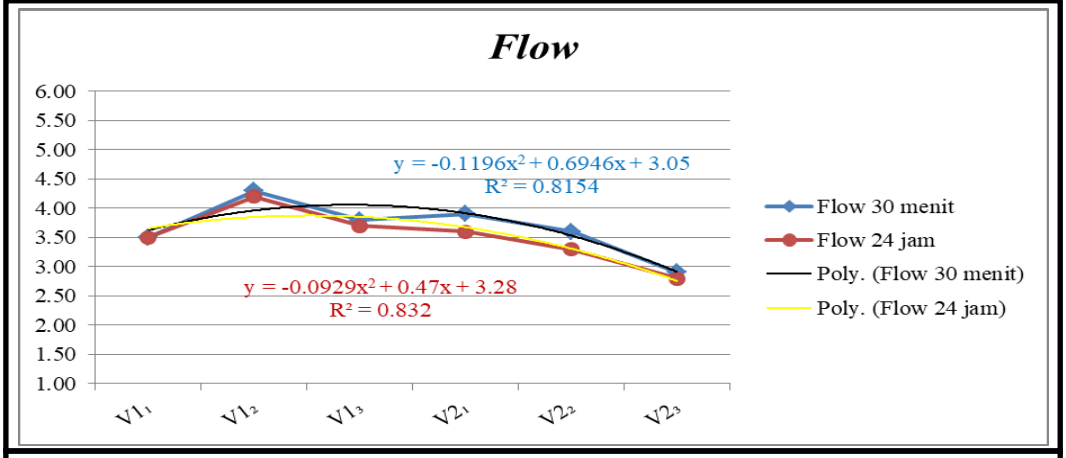


Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian *Density*

Gambar 4.4 menunjukkan lapis AC-BC pada variasi *filler* semen dan abu cangkang cue keduanya memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan yaitu lebih besar dari ≥ 2 gr/cm^3. Dalam grafik tersebut dapat dilihat nilai *density* setiap rendaman, baik rendaman 30 menit ataupun 24 jam mengalami penerunan, walaupun penurunnya realtif kecil tidak terlalu signifikan dan masih memenuhi spesifikasi. Kombinasi variasi *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue membuat volume benda uji semakin besar namun mudah untuk dipadatkan, sedangkan berat keringnya tidak berubah. sehingga semakin besar volume disebabkan oleh kepadatannya maka semakin bertambah sifat plastisnya.

4.2.3 *Flow*

Flow merupakan besarnya perubahan benda uji yang terjadi mulai pada saat pembebanan sampai kondisi kesetabilan memenuhi/maksimum. *Flow* menunjukan tingkat kelelehan plastis dan kelenturan suatu campuran. Nilai *flow* yang tinggi mengindikasikan campuran bersifat plastis sehingga lebih mampu mengikuti perubahan yang terjadi akibat beban. Pengukuran *flow* dilakukan bersamaan dengan pengukuran nilai stabilitas m*arshall*. Nilai *flow* juga diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat *marshall test* sewaktu melakukan pengujian *marshall*. Nilai *flow* lapis AC-BC dengan variasi *filler* Semen dan Abu Cangkang Cue dari berbagai variasi persentase benda uji diperlihatkan pada Gambar 4.5 dibawah ini.



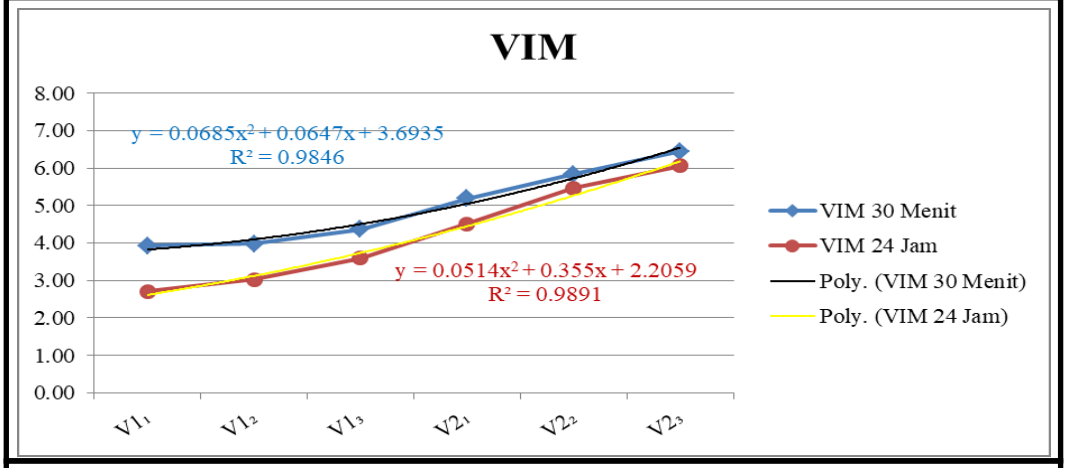
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian *Flow*

Gambar 4.5 nilai *flow* yang terjadi pada lapis AC-BC pada variasi *filler* semen dan abu cangkang cue tidak semua benda uji memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu tidak boleh lebih besar dari ≥ 4 mm dan tidak lebih kecil dari ≤ 2 mm. Dilihat dari gambar grafik diatas menunjukan nilai *flow* variasi 0:100 % untuk benda uji dua baik rendaman 30 menit maupun 24 jam mengalami peningkatan sehingga melebihi dari spesifikasi yang telah ditentukan. Nilai *flow* yang tertinggi untuk rendaman 30 menit didapat sebesar 4,3 mm dan untuk rendaman 24 jam didapat nilai *flow* tertinggi sebesar 4,2 mm. Selanjutnya melihat dari gambar grafik diatas nilai *flow* cendrung menurun dan memenuhi spesifikasi. Grafik di atas menunjukan nilai *flow* dari

sebagian variasi *filler* semen dan abu cangkang cue masing-masing benda uji masih belum memenuhi spesifikasi yaitu 2-4 mm, sehingga perubahan bentuk akibat pembebanan bisa saja terjadi.

4.2.4 *Void in mix* (VIM)

VIM adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal atau suatu rongga yang terdapat didalam total campuran. VIM dibutuhkan untuk mengetahui presentase volume pori yang masih tersisa setelah campuran aspal dipadatkan. Nilai VIM yang semakin tinggi menunjukan bahwa rongga pada pada benda uji besar dan kurangnya kekedapan suatu benda uji terhadap air. Nilai VIM lapis AC-BC dengan variasi *filler* semen dan abu cangkang cue dari berbagai variasi persentase benda uji diperlihatkan pada Gambar 4.6 berikut ini.



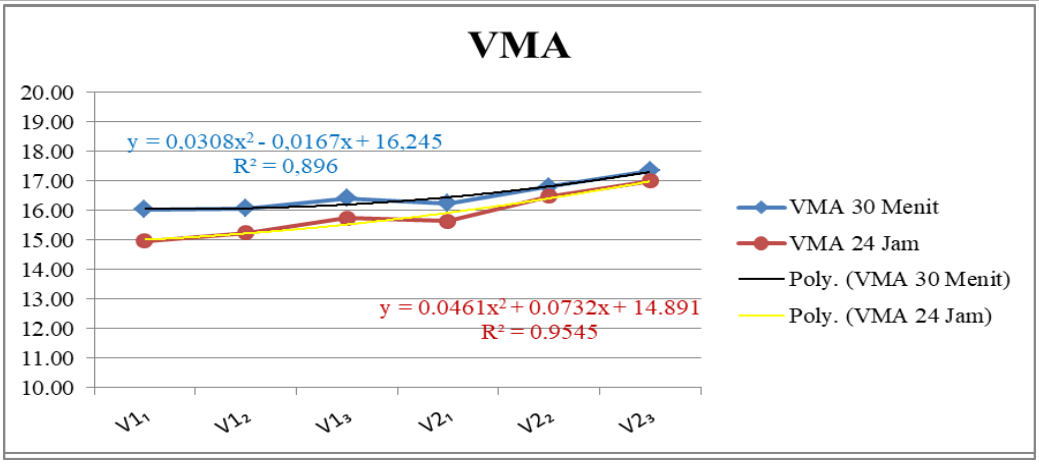
Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian VIM

Persentase dari kedua variasi *filler* semen dan abu cangkang cue sebagian benda uji pada Gambar 4.6 menunjukkan, bahwa tidak semua benda uji memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu harus lebih besar dari ≥ 3,5 % dan harus lebih kecil dari ≤ 5,5 mm. Nilai VIM pada perendaman 30 Menit yang tidak memenuhi spesifikasi adalah variasi 25:75% yang terdapat di benda uji kedua dan ketiga, dengan nilai VIM tertingi 6,45%. Besarnya nilai VIM menunjukan bahwa pori-pori atau rongga pada benda uji besar dan dapat dilalui oleh air, nilai VIM ini berpengaruh pada keawetan benda uji. Sedangkan nilai VIM terkecil terdapat di variasi 0:100% benda uji

pertama pada rendaman 24 jam sebesar 2,71%. Nilai VIM yang rendah pada variasi 0:100% menunjukan bahwa benda uji tersebut lebih kedap air dibandingkan dengan variasi 25:75%, dikarenakan presentase filler cangkang cue berkurang akiban variasi dengan semen.

4.2.5 *Voids in mineral agaregat* (VMA)

Nilai VMA merupakan banyaknya pori-pori antara butir agregat didalam beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Nilai VMA menunjukan peresentase pori antara butir agregat didalam beton aspal padat. VMA akan meningkat jika selimut aspal dalam campuran lebih tebal. Hasil nilai VMA lapis AC-BC dengan variasi *filler* semen dan abu cangkang cue dari berbagai variasi persentase benda uji diperlihatkan pada Gambar 4.7 berikut ini.



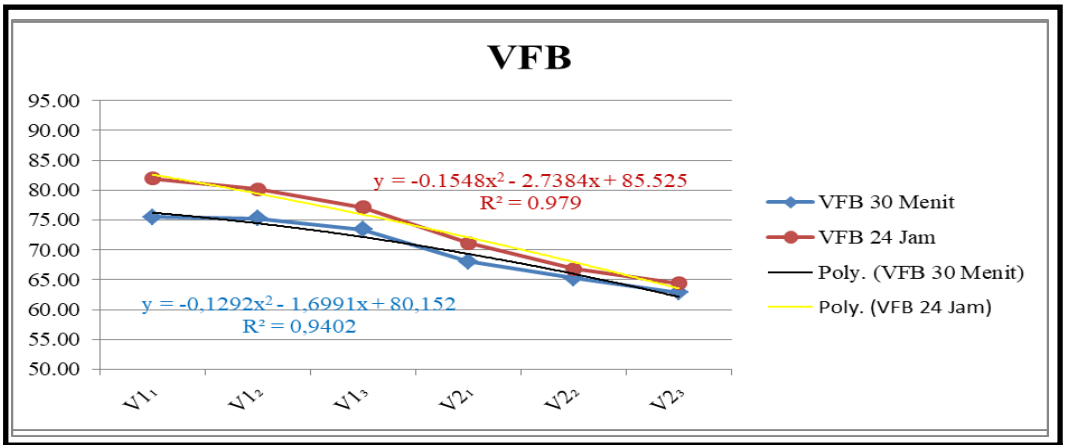
Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian VMA

Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa persentase nilai VMA setiap variasi baik rendaman 30 menit memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan yaitu ≥ 15 %. Rendaman 24 jam pada variasi 0:100 benda uji satu tidak memenuhi di karenakan ada kesalah pas pemasakan masakan. Sesuai grafik di atas menunjukkan kenaikan nilai VMA ini desebabkan oleh variasi *filler* semen dan abu cangkang cue maka nilai VMA atau rongga antar butir agregat campuran aspal beton AC-BC semakin meningkat. Gambar garfik diatas menunjukan nilai VMA terendah terdapat pada rendaman 24 jam variasi 0:100 benda uji pertama

sebesar 14,96% dan persentase nilai VMA tertinggi terdapat pada rendaman 30 menit variasi 25:75 benda uji ketiga dengan nilai sebesar 17,35%.

4.2.6 *Voids filled by bitumen* (VFB)

VFB adalah presentase volume beton aspal padat yang menjadi film aspal atau merupakan presentase volume aspal yang menyelimuti agregat setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFB yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Semakin tinggi nilai VFB menandakan semakin banyaknya rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga campuran menjadi lebih kedap terhadap air dan udara. Hasil nilai VMA lapis AC-BC dengan variasi *filler* semen dan abu cangkang cue dari berbagai variasi persentase benda uji diperlihatkan pada Gambar 4.7 berikut ini.



Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengujian VFB

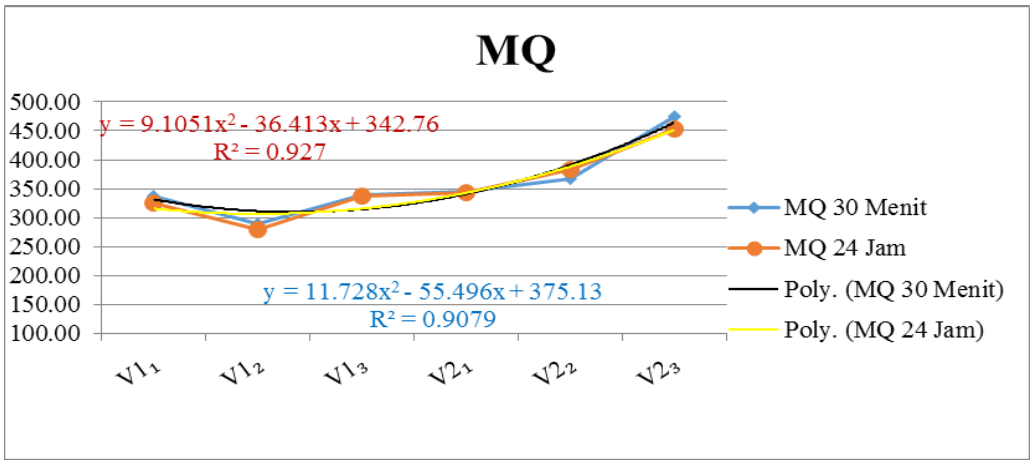
Berdasarkan Gambar 4.8 diatas menunjukan bahwa nilai VFB tidak semua variasi *filler* semen dan abu cangkang cue memenuhi spesifikasi yang yang diisyaratkan yaitu ≥ 65%. Nilai VFB yang tidak memenuhi rendaman 30 menit terdapat pada variasi 25:75% benda uji ketiga sebesar 62,82% dan nilai VFB yang tidak memenuhi rendaman 24 jam terdapat pada variasi 25:75% benda uji ketiga sebesar 64,38%. Nilai VFB tertinggi 30 menit terdapat pada variasi 0:100% benda

uji pertama sebesar 75,51% dan nilai VFB tertinggi rendaman 24 jam terdapat pada variasi 325:75% benda uji ketiga sebesar 64,38%.

Grafik tersebut juga menggambarkan bagaimna persentase nilai VFB selalu mengalami penurunan. Menurunnya nilai VFB disebabkan bertambahnya menurunnya persentase abu cangkang cue dalam campuran aspal beton sehingga aspal menjadi lebih keras menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama.

4.2.7 *Marshall quotient* (MQ)

Nilai MQ merupakan pendekatan terhadap kekakutan dan kelenturan dari suatu lapis perkerasan atau merupakan indeks kelenturan suatu campuran beberapa perbandingan antara stabilitas terhadap *flow*. Bila campuran mempunyai nilai MQ yang tinggi berarti campuran itu kaku atau fleksibilitasnya rendah. Hasil nilai MQ lapis AC-BC dengan variasi *filler* semen dan abu cangkang cue dari berbagai variasi benda uji diperlihatkan pada Gambar 4.8 berikut ini.



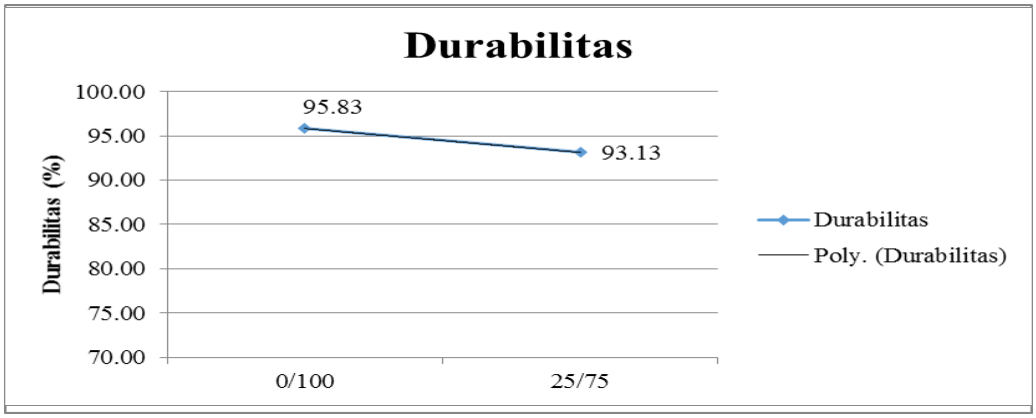
Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian MQ

Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa semua nilai MQ variasi *filler* semen dan abu cangkang cue memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu ≥ 250 kg/mm. Nilai MQ terlihat pada grafik diatas mengalami peningkatan dari berbagai variasi benda uji, dimana nilai MQ tertinggi diperoleh rendaman 30 jam variasi 25:75 benda uji variasi ketiga sebesar 474,37 kg/mm. Hal ini menunjukan bahwa variasi

filler semen dan abu cangkang cue 25:75 sebagai bahan penganti *filler* campura aspal dengan kombinasi Semen dan Abu Cangkang Cue menyebabkan campuran semakin kaku.

4.2.8 Tinjauan terhadap nilai durabilitas

Durabilitas merupakan perbandingan antara stabilitas rendaman 24 jam pada suhu 60°C dengan stabilitas standar rendaman 30 menit pada suhu 60°C. Nilai durabilitas ini menunjukkan tingkat keawetan campuran beton aspal. Nilai durabilitas variasi *filler* semen dan abu cangkang cue sebagai bahan pengganti *filler* campuran AC-BC dengan variasi 0:100 dan 25:75 diperlihatkan pada Gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.10 Grafik Hasil Pengujian Durabilitas

Gambar 4.9 menunjukan bahwa nilai durabilitas variasi *filler* semen dan abu cangkang cue dengan variasi 0:100 dan 25:75 tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Nilai Durabilitas lapis AC-BC variasi *filler* semen dan abu cangkang cue variasi 0:100 nilai durabilitasnya 95,83% dan 25:75 nilai durabilitasnya sebesar 93,13%. Hal ini menunjukan bahwa nilai durabiltas memenuhi persyaratan yang diisyaratkan oleh Bina Marga 2018 yaitu $\geq$ 90%.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun beberapa kesimpulan yang dapat di berikan dari hasil penelitian pengaruh penggunaan Semen dan Abu Cangkang Cue sebagai bahan pengganti *filler* pada campuran *asphalt concrete bearing course* ialah sebagai berikut :

1. Hasil pemeriksaan variasi 0:100 didapat nilai KAO adalah KAO 6,25% sedangkan variasi 25:75 didapat nilai KAO adalah 5,75%;
2. Hasil pengujian *marshall* rendaman 30 menit laps AC-BC dengan menggunakan variasi *filler* semen dan abu cangkang cue pada variasi 0:100 KAO 6,25% di peroleh nilai stabilitas sebesar 1237,310 kg, *density* 2,36 gr/m^3, *flow* 3,87 mm, VIM 4,09%, VMA 16,17%, VFB 74,72%, MQ 321,755 kg/mm;
3. Hasil pengujian *marshall* rendaman 30 menit lapis AC-BC dengan menggunakan variasi *filler* semen dan abu cangkang cue pada variasi 25:75 KAO 5,75% di peroleh nilai stabilitas sebesar 1348,685 kg, *density* 2,33 gr/m^3, *flow* 3,47 mm, VIM 5,83%, VMA 16,80%, VFB 65,38%, MQ 395,790 kg/mm;
4. Nilai durabilitas variasi *filler* semen dan abu cangkang cue variasi 0:100 adalah 95,83% dan 25:75 nilai durabilitasnya sebesar 93,13%. Hal ini menunjukan bahwa nilai durabiltas memenuhi persyaratan yang diisyaratkan oleh Bina Marga 2018 yaitu $\geq$ 90%.
5. Dari kedua variasi tersebut diperoleh nilai stabilitas yang baik yang sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, semakin tinggi dan kadar aspal optimum maka menyebabkan nilai stabilitas yang lebih rendah nilai flow dan vim yang lebih tinggi hal ini dapat disimpulkan bahwa kedua kadar cue dalam suatu campuran dapat menyebabkan kelenturan dan keawetan kedua variasi ini cocok digunakan untuk lalu lintas berat.
6. Nilai durabilitas lapis AC-BC variasi *filler* semen dan abu cangkang cue variasi 0:100 nilai durabilitasnya 95,83% dan 25:75 nilai durabilitasnya sebesar

93,13%. Hal ini menunjukan bahwa nilai durabiltas memenuhi persyaratan yang diisyaratkan oleh Bina Marga 2018 yaitu ≥ 90%. Hal ini menunjukan bahwa pengunaan variasi *filler* semen dan abu cangkang cue dapat dikatakan baik jika digunakan untuk bahan penganti filler yang biasa digunkan dalam konstruksi jalan raya dan dapat digunakan pada lalu lintas yang berat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penggunaan *filler* semen dan abu cangkang cue sebagai bahan pengganti *filler* pada campuran *asphalt concrete Bearing course,* saran-saran yang ditujukan agar penelitian dapat disempurnakan. Peneliti memberikan saran pada pihak-pihak yang terkait berdasarkan permasalahan yang terjadi, antara lain:

1. Diharapkan adanya pengujian berat jenis abu cangkang cue dan pengujian sifat kimia yang terkandung didalam abu cangkang cue agar dapat diketahui keseragaman bahan untuk penelitian sebagai bahan pengganti *filler* dalam campuran aspal;
2. Penulis menggunakan variasi 0:100 dan 25:75 semen, abu cangkang cue dan aspal pen 60/70 dengan hasil yang telah terlampir di buku ini, diharapkan untuk penelitian selanjutnya gunakan variasi semen, abu cangkang cue yang berbeda dan jenis aspal lainnya seperti aspal *retona blend 55*, agar dapat mengetahui perbedaan keduanya.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. Advanty Esentia, 2014, *Pengaruh Penggantian Sebagian Filler Semen denga Kombinasi 40% Serbuk Batu Bata dan 60% Abu Cangkang Lokan pada Campuran Asphalt Concreye Binder Course (AC-BC)*, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Bengkulu.

2. Badan Standardisasi Nasional. 2005. *Cara Uji Butiran Agregat Kasar Berbentuk pipih, lonjong atau pipih dan lonjong*. RSNI T-01-2005. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

3. Badan Standardisasi Nasional. 2011. *Cara Uji Penyelimutan dan Pengelupasan pada Campuran Agregat-aspal*. SNI 2439:2011. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

4. Badan Standardisasi Nasional. 2011. *Kelekatan aspal terhadap batuan*. SNI SNI 2439:2011. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

5. Badan Standardisasi Nasional. 1991. *Metode Pengujian Kehilangan Berat dengan Cara A.* SNI 06-2440-1991. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.

6. Badan Standardisasi Nasional. 1991. *Keausan agregat*. SNI 2417:1991. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

7. Badan Standardisasi Nasional. 1991. *Berat jenis dan persyaratan agregat*. SNI- 06-2441-1991. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

8. Bukhari dkk, 2007, *Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan*, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.

9. Nunung Widyaningsih., 2019 *pengaruh variasi kadar filler abu cangkang kerang terhadap parameter marshall di lapisan laston AC-BC.* Jurnal Ilmiah Universitas Semarang. Vol. 14, No. 1, Hal. 3-6.

10. Putrowijoyo., 2006, *Kajian laboratorium sifat marshall dan durabilitas asphalt concrete - wearing course (ac-wc) dengan membandingkan penggunaan antara semen portland dan abu batu sebagai filler*, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

11. Rika Sylviana., 2016 *Perbandingan Nilai Stabilitas Penggunaan Filler Serbuk Kulit Kerang Dengan Abu Batu Pada Campuran Beton Aspal* , Jurnal Unisma, Bekasi, Universitas Islam 45, Bekasi. Vol. 15, No. 2.

12. Suprapto, TM., 2004, *Bahan dan Struktur Jalan Raya*, KMTS FT UGM, Yogyakarta.

13. Sukirman, *2003, Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Granit, Jakarta.

14. Sukirman, *2016, Beton Campuran Aspal Panas*, Institut Teknologi Bandung.

15. Spesifikasi Teknis Departemen Pekerjaan Umum (2018), *Ketentuan Agregat Kasar dan Agregat Halus*

16. Veranita., 2019 *Pengaruh Pemberian Filler Abu Cangkang Lokan Terhadap Parameter Marshall Pada Campuran Aspal Beton,*, Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi Universitas Teuku Umar, Meulaboh. Vol. 5, No. 1, Hal. 73-75.