

PENGARUH SUHU TERHADAP MODULUS ELASTISITAS DAN ANGKA POISSON BETON ASPAL LAPIS AUS (AC-WC) DENGAN KAPUR SEBAGAI *FILLER*

Arselina Wood Ward Wiyono* , Arief Setiawan** dan Nur hidayat***

*) Alumni Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Tadulako, Palu

**) Staf Pengajar pada KK Transportasi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Anggota Pusat Studi Transportasi dan Logistik Universitas Tadulako, Palu

***) Staf Pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

Abstract

Today the use filler in asphalt concrete mixes such as AC-WC has done much to improve durability. hydrated lime is the only one. The purpose of this reasearch was to determine the effect of temperature variation of the modulus of elasticity and Poisson ratio figures asphalt contred wearing course (AC-WC) using hydrated lime as a filler. Variations hydrated lime used in this reasearch is a variation of the levels of hydrated lime: dust filer 0%, 25% and 50%, and the temperature variation is 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C. The results showed that the higher the test temperature, the diminishing value of modulus of elasticity, but inversely proportional to the number poisson where the higher the test temperature, the higher the number poissonnya, causing the mixture to become more flexible when the load is given. The results showed that the greater the level of lime, the diminishing value of modulus of elasticity, but inversely proportional to the number poisson where greater levels of calcium, the higher the number poissonnya, causing the mixture to become more flexible when the load is given.

Keyword: *Temperature, Asphalt Concrete wearing course, HydratedLime, Indirect Tensile Strength (IDT-Strength), Modulus of Elasticity, Poisson ratio*

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya beban lalu lintas mendorong terjadinya kerusakan dini berupa retak dan terjadinya deformasi pada perkerasan. Perubahan suhu akan mempengaruhi tingkat kepadatan yang pada akhirnya akan mempengaruhi kinerja dari campuran aspal beton. Meningkatnya suhu maka nilai modulus elastisitas lapisan beraspal akan menurun, kecenderungan ini disebabkan oleh sifat visco-elastic dari material aspal yang kemudian mempengaruhi karakteristik dari lapisan beraspal.

Lapisan perkerasan jalan adalah bagian penting dari konstruksi jalan yang mendukung beban lalu lintas, dimana konstruksi perkerasan yang banyak

dipergunakan adalah konstruksi perkerasan lentur (flexible pavement). Struktur perkerasan terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan beraspal, material lepas, dan lapisan tanah dasar. Ketahanan suatu material dari perubahan bentuk akibat gaya yang bekerja sangat dipengaruhi oleh stabilitas dan sifat-sifat dari unsur penyusun material itu sendiri.

Stabilitas dan pengaruh sifat-sifat unsur penyusun suatu material terhadap beban atau gaya dapat dilihat dari nilai modulus elastisitas dan angka poissonnya. Di mana semakin besar nilai modulus elastisitas suatu material dan semakin kecil angka poissonnya maka akan membuat material tersebut semakin kokoh dan stabil.

Beton aspal sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Saat ini telah banyak dikembangkan berbagai macam bahan pengisi (filler) untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan.

Salah satu alternatif bahan anti pengelupasan (anti-stripping agent), yaitu kapur padam (hydrated lime), karena disamping harganya relatif murah kapur juga merupakan salah satu bahan tambang lokal di Sulawesi Tengah. kapur merupakan sebuah benda putih dan halus terbuat dari batuan sedimen, yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3). Kapur berfungsi sebagai antistripping agent yang dapat meningkatkan durabilitas atau keawetan kinerja campuran beton aspal dalam menerima repetisi beban lalu-lintas.

Studi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi Suhu terhadap modulus elastisitas dan angka poisson beton aspal lapis aus (AC-WC) dengan menggunakan kapur sebagai filler. Penelitian ini melihat pengaruh Suhu terhadap modulus elastisitas dan angka poisson pada beton aspal lapis aus (AC-WC), dengan berbagai variasi Suhu (20°C , 30°C , 40°C , 50°C , dan 60°C).

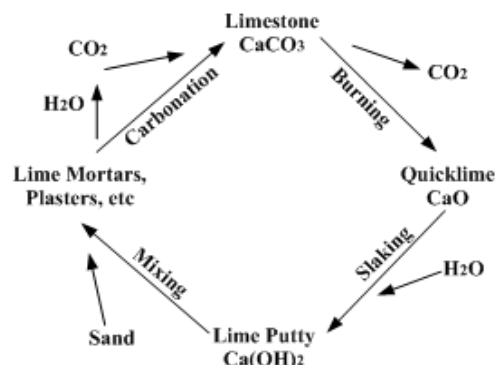
Pada penelitian ini kadar kapur yang digunakan ialah kadar kapur optimum, yang didapat dari hasil pengujian "studi penggunaan kapur sebagai material pengisi (filler) terhadap karakteristik campuran beton aspal lapis aus (AC-WC)", dengan variasi kadar kapur 0%, 25%, dan 50% terhadap berat total filler debu batu pada campuran aspal beton.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan pengisi kapur

Secara umum kapur bersifat hidrolik, berat jenis rata-rata 1 kg/cm^3 , tidak menunjukkan pelapukan dan dapat terbawa arus. Secara fisik kapur merupakan sebuah benda putih dan halus. Bahan dasar kapur adalah batu kapur. Batu kapur mengandung kalsium karbonat (CaCO_3), Susunan kimia maupun sifat bahan dasar yang mengandung kapur ini berbeda dari

satu ke tempat yang lain. Bahkan dalam satu tempat pun belum tentu sama.



Gambar 1. Siklus kapur (lime)
Sumber: www.Wikipedia.org

Kapur dalam campuran aspal panas (hotmix) menciptakan banyak manfaat diantaranya adalah bertindak sebagai antistripping agent yang dapat meningkatkan durabilitas atau keawetan kinerja campuran beton aspal dalam menerima repetisi beban lalu-lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti udara, air, atau perubahan Suhu.

Batu kapur diperoleh dari hasil penambangan warga Kelurahan Tondo, Kecamatan Palu Timur. Kemudian dilakukan pembakaran dengan suhu tinggi lalu disiram dengan air, sehingga menghasilkan kapur padam. Kapur padam tersebut kemudian disiram dengan air, sehingga terpecah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Kemudian bagian-bagian kecil tersebut dihancurkan hingga menjadi serbuk yang lebih halus dan lolos saringan No. 200, setelah itu kapur dapat digunakan sebagai bahan pengisi (filler).

2.2 Modulus Elastisitas dan Angka Poisson

Modulus elastisitas ini sering pula disebut sebagai Modulus Young yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis. Sehingga modulus elastisitas

menunjukkan kecenderungan suatu material untuk berubah bentuk dan kembali lagi ke bentuk semula bila diberi beban (SNI 2826-2008).

Modulus Elastisitas (E) dipakai untuk bahan padat dan membandingkan regangan dan tegangan.

Modulus elastisitas perkerasan lentur merupakan salah satu parameter perancangan kekuatan struktur perkerasan jalan dalam metode analitis yaitu menghitung reaksi perkerasan terhadap beban lalu lintas yang dapat diperoleh dari pengujian laboratorium.

Angka poisson (μ) adalah angka perbandingan antara regangan horizontal (Lateral Strain) dan regangan vertikal (Axial Strain) yang disebabkan oleh beban sejajar sumbu dan regangan aksial (Yoder, E.Y. and M.W Witczak. 1975).

Persamaan yang dapat digunakan untuk memperkirakan besaran rasio Poisson pada pengujian beban statis sebagai berikut:

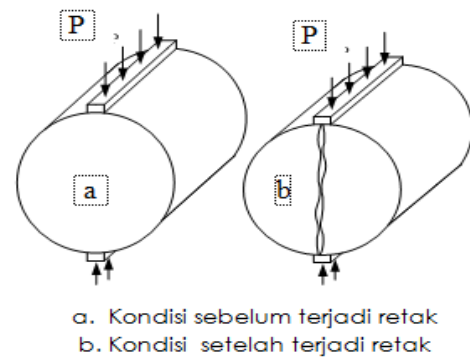
Pengujian kuat tarik tak langsung (IDT Strength) telah digunakan untuk mengevaluasi sifat-sifat teknis campuran aspal dan telah tersedia standar ASTM untuk menentukan Modulus Elastis dan Angka Poisson.

2.3 Pengujian Tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Strength, IDT- Strength*)

Kuat tarik tidak langsung (IDT- Strength) adalah kemampuan lapis perkerasan untuk menahan beban berupa tarikan yang terjadi pada arah horizontal. Uji kuat tarik tidak langsung digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan terjadinya retakan yang terjadi pada lapis perkerasan.

Pemberian beban akan mengakibatkan kenaikan tegangan (stress) yang akan diikuti pula dengan kenaikan regangan (strain), sampai pada regangan tertentu yaitu keadaan saat benda uji mulai runtuh (mengalami retak) yang berarti tegangan yang terjadi merupakan tegangan maksimum. Pada keadaan tegangan maksimum dan regangan tertentu pada benda uji dianggap

mengalami gaya tarik tidak langsung setelah benda uji runtuh atau retak maka besarnya tegangan yang diperlukan sampai benda uji runtuh akan semakin turun, tetapi regangan yang terjadi justru semakin besar. Hal ini disebabkan oleh ikatan dalam benda uji semakin turun karena mengalami retak yang berakibat pada pecahnya benda uji.



Gambar 2. Ilustrasi Pengujian IDT- Strength
 Sumber : Yoder, E.Y. and M.W Witczak. 1975

Rumus yang digunakan dalam perhitungan parameter seperti modulus elastisitas E dan regangan tarik IDT tersebut adalah sebagai berikut:

$$E = \frac{4P}{\Delta R_v \cdot \pi \cdot t} \cdot (1 + 3\mu) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

- E = Modulus elastisitas campuran beton aspal (N/mm²)
- P = Beban maksimum (N)
- ΔR_v = Deformasi horizontal benda uji (mm)
- R_o = Jari-jari awal (mm)
- t = Tebal diameter benda ujia (mm)
- μ = Angka poisson

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat penelitian

Penelitian telah dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu, Sulawesi Tengah.

3.2 Bahan penelitian

Bahan penelitian yang digunakan terdiri dari agregat kasar dan agregat halus (diambil dari *Stone Crusher Taipa*) bahan

pengisi (*filler*) kapur padam (yang diperjualbelikan penduduk di sepanjang jalan Trans Sulawesi arah Kota Palu - Pelabuhan Pantoloan) serta bahan pengikat berupa aspal penetrasi 60/70 Ex. Pertamina.

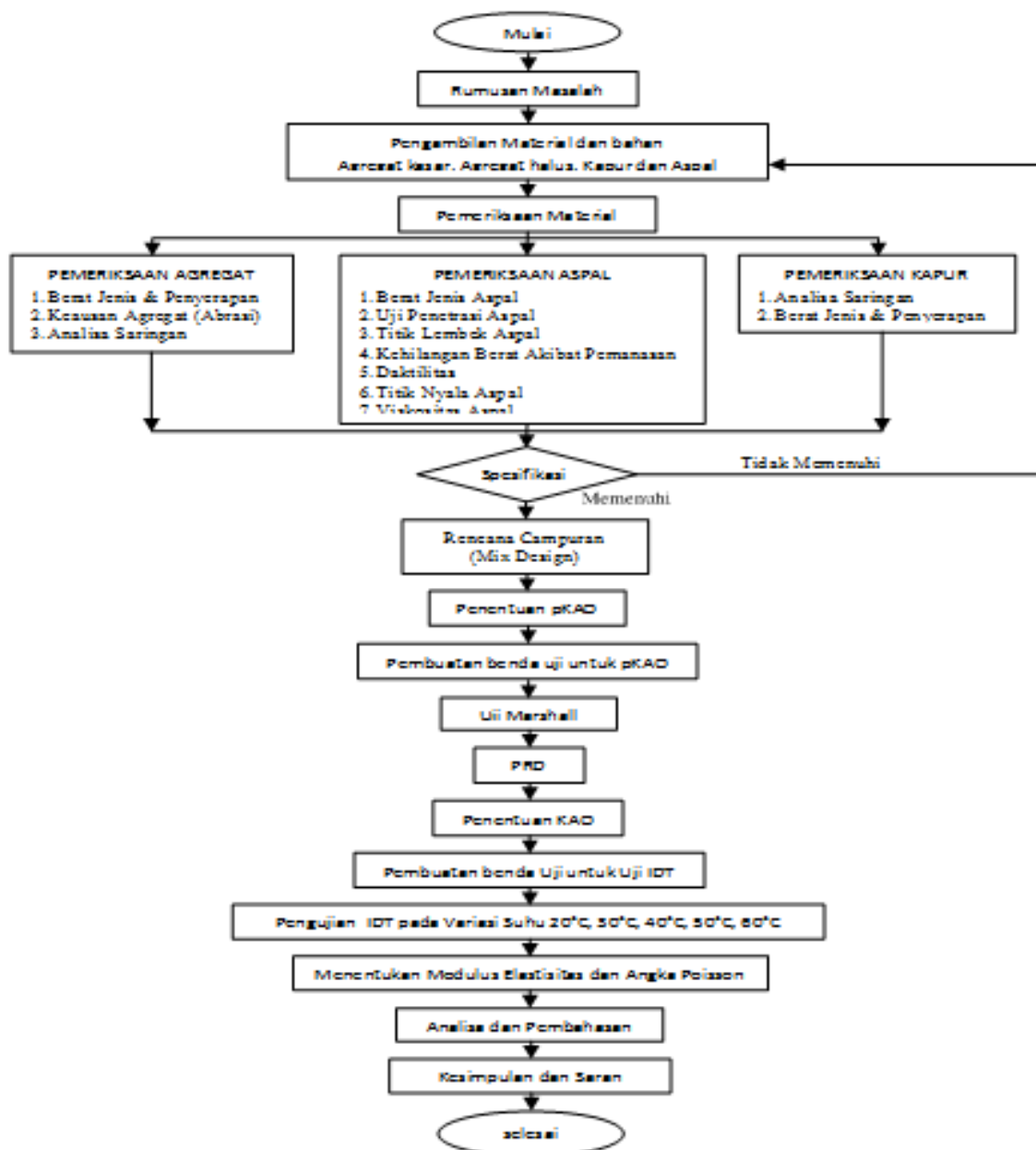
3.3 Alat yang digunakan

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi 1 (satu) set saringan, oven pemanas, 1 (satu) set alat Marshall, satu

set saringan, 1 (satu) set timbangan (*neraca*), 1 (satu) buah kompor minyak tanah untuk pemanasan aspal dan campuran.

3.4 Prosedur penelitian

Dalam melaksanakan penelitian di laboratorium mengacu kepada diagram alir yang dibuat agar tidak keluar dari ketentuan yang telah ditetapkan. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Tabel 1. Penentuan Komposisi Agregat pada Campuran

Saringan No.	Bukaan (mm)	Fraksi 3/4"		Fraksi 3/8"		Abu batu		Gradasi Gabungan	Spesifikasi	Komposisi % Tertahan
		% Lolos	10%	% Lolos	36%	% Lolos	54%			
3/4"	19.00	100	10.00	100	36.00	100	54.00	100.00	100	0
1/2"	12.50	30.27	3.03	96.67	34.80	100	54.00	91.83	90-100	8.17
3/8"	9.500	11.55	1.16	87.28	31.42	100	54.00	86.57	72-90	5.25
#4	4.750	0.34	0.03	20.35	7.32	100	54.00	61.36	54-69	25.22
#8	2.360	0.30	0.03	1.74	0.63	91.76	49.55	50.21	39,1-53	11.15
#16	1.180	0.27	0.03	1.11	0.40	67.12	36.24	36.67	31,6-40	13.54
#30	0.600	0.26	0.03	1.11	0.40	44.54	24.05	24.48	23,1-30	12.20
#50	0.300	0.25	0.02	1.07	0.38	33.23	17.95	18.35	15,5-22	6.12
#100	0.150	0.23	0.02	1.06	0.38	19.24	10.39	10.79	9-15	7.56
#200	0.075	0.20	0.02	0.86	0.31	10.37	5.60	5.93	4-10	4.86
Pan	-	0	0	0	0	0	0	0	-	5.93

Sumber: Hasil olahan Tahun 2012

Tabel 2. Berat Agregat pada Tiap Jenis Saringan

Saringan No.	Bukaan (mm)	Berat (gram) Kapur 0%	Berat (gram) Kapur 0%	Berat (gram) Kapur 0%	Berat (gram) Kapur 0%
3/4	19.00	0.0	0.0	0.0	0.0
1/2	12.50	98.1	98.1	98.1	98.1
3/8	9.50	63.0	63.0	63.0	63.0
#4	4.75	302.6	302.6	302.6	302.6
#8	2.36	133.8	133.8	133.8	133.8
#16	1.18	162.4	162.4	162.4	162.4
#30	0.60	146.4	146.4	146.4	146.4
#50	0.30	73.5	73.5	73.5	73.5
#100	0.15	90.7	90.7	90.7	90.7
#200	0.075	58.3	58.3	58.3	58.3
Pan	-	71.2	13.2	35.6	39.5
Kapur	-	0.0	53.4	26.6	35.6

Sumber: Hasil olahan Tahun 2012

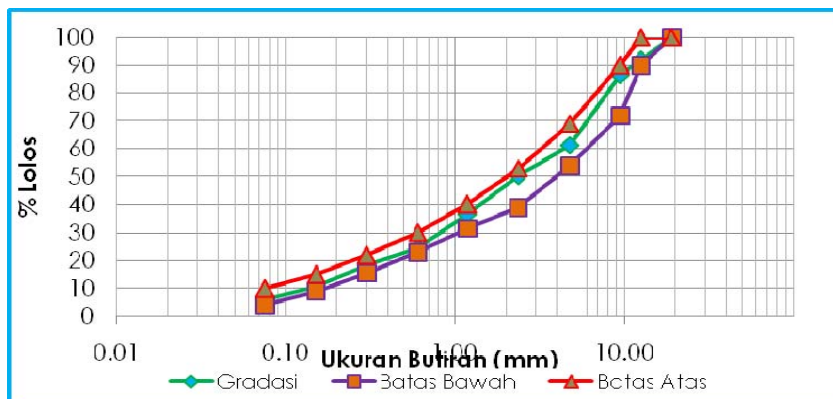
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemeriksaan Material dan Gradasi Gabungan Agregat dan Asbuton Butir

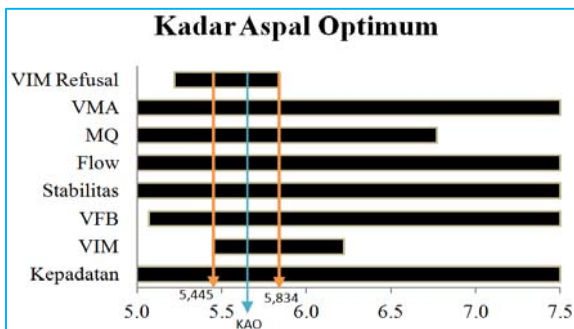
Sebagai langkah awal pada penelitian ini, telah dilakukan pengujian material yang akan digunakan meliputi pemeriksaan terhadap karakteristik fisik agregat, sifat-sifat teknis kapur dan aspal. Hal ini diperlukan untuk mengetahui apakah jenis agregat, asbuton maupun aspal minyak yang digunakan berkualitas baik atau tidak (memenuhi batasan spesifikasi atau tidak). Adapun agregat yang digunakan untuk campuran beton aspal (AC-WC) adalah agregat ¾", ½", abu batu dan vahan pengisi kapur.

Hasil pemeriksaan terhadap sifat-sifat teknis agregat menunjukkan bahwa agregat yang digunakan berkualitas baik dan dapat digunakan karena memenuhi syarat yang ditetapkan dalam spesifikasi.

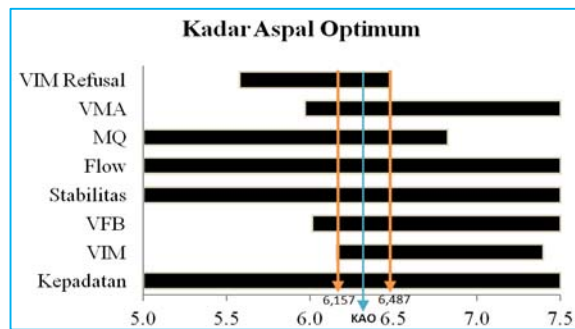
Pada prinsipnya pembuatan campuran beraspal dilakukan dalam dua tahap, yaitu penetapan komposisi agregat dan penentuan perkiraan kadar aspal optimum (PKAO). Untuk mendapatkan nilai PKAO, maka dibuatkan gradasi gabungan agregat dan vahan pengisi kapur, dimana kadar kapur adalah 0%, 25%, 50% dan 75%. Hasil penggabungan agregat dengan asbuton butir disajikan pada Tabel 1, dan Tabel 2.



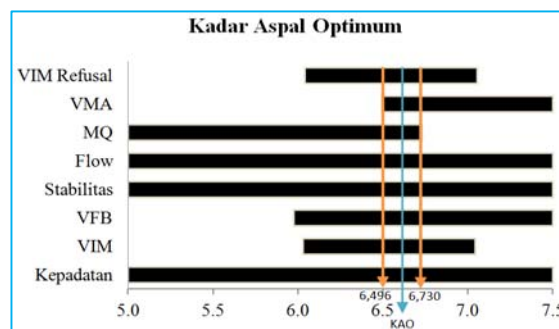
Gambar 4. Gradasi Gabungan Campuran Beton Aspal Lapis Aus
 Sumber: Hasil olahan Tahun 2012



Gambar 5. Kadar Aspal Optimum untuk Campuran AC-WC pada kadar Kapur 0%



Gambar 6. Kadar Aspal Optimum untuk Campuran AC-BC pada kadar Kapur 25%



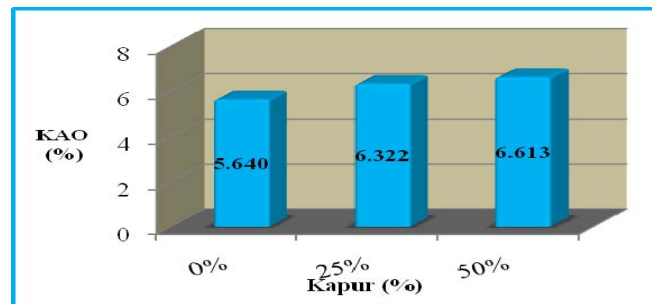
Gambar 7. Kadar Aspal Optimum untuk Campuran AC-WC pada kadar Kapur 50%

4.2 Hasil Pemeriksaan Marshall untuk Benda Uji pKAO pada kadar kapur 0%, 25%, 50% dan 75%

Pemeriksaan Marshall pada benda uji pKAO dilakukan untuk menentukan nilai Kadar Aspal Optimum pada kadar kapur

0%, 25%, 50% dan 75%. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) setiap kadar kapur disajikan pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, sementara pada kadar kapur 7% KAO tidak dapat ditentukan.

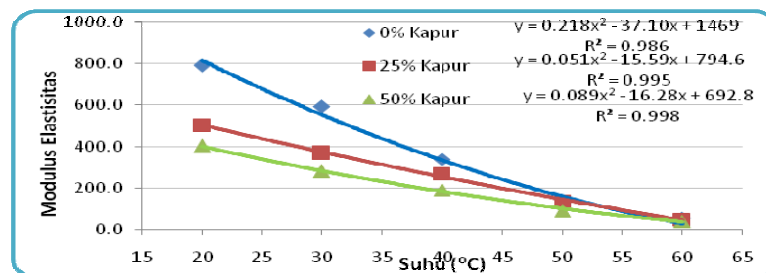
Pengaruh Suhu Terhadap Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) dengan Kapur sebagai Filler
 Arselina Wood Ward Wiyono, Arief Setiawan dan Nur Hidayat



Gambar 8. Kadar Aspal optimum Untuk Masing - masing Campuran AC-WC

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas dengan Penambahan Variasi Kapur dan variasi Suhu

Pengujian	Kadar Kapur	Suhu (°C)				
		20	30	40	50	60
Modulus Elastisitas (Mpa)	0%	792.42	594.75	339.13	111.54	52.83
	25%	503.92	366.56	269.76	128.73	49.65
	50%	402.72	282.14	192.88	92.92	40.19



Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Suhu terhadap Modulus Elastisitas pada Variasi Kadar Kapur

Sumber: Hasil analisis, 2012

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa campuran Aspal Beton Lapis Aus AC-WC dengan kadar kapur 0% diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 5,640%, dan untuk kadar kapur 25% diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 6,322%, sedangkan untuk kadar kapur 50% diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 6,613%.

Sementara untuk kadar kapur 75% tidak diperoleh kadar aspal optimum, karena tidak didapatkan kadar aspal yang memenuhi semua parameter *Marshall*.

4.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu bahan. Sehingga

semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi gaya. Hasil pengujian Modulus Elastisitas dengan berbagai variasi kapur dan variasi Suhu pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada Tabel 3 dan Gambar 9.

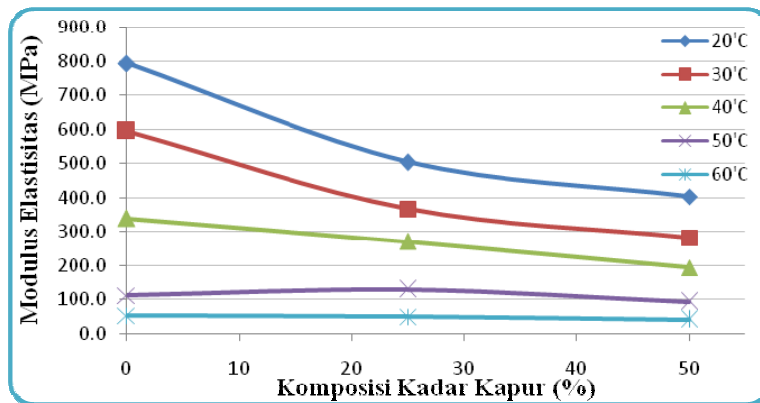
Dari Gambar 9, hasil ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya Suhu maka nilai modulus elastisitasnya juga semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh sifat aspal yang viscoelastis serta sensitif terhadap Suhu.

Pengaruh variasi kapur terhadap nilai modulus elastisitas pada campuran beton aspal cenderung mengalami

penurunan seiring bertambahnya kadar kapur. Penurunan nilai modulus elastisitas ini disebabkan oleh penambahan komposisi kadar kapur yang membuat kadar aspal juga meningkat sehingga menyebabkan campuran menjadi lebih lentur.

4.4 Angka Poisson

Angka Poisson adalah nilai yang dihasilkan dari perbandingan antara regangan horizontal dan regangan vertikal.

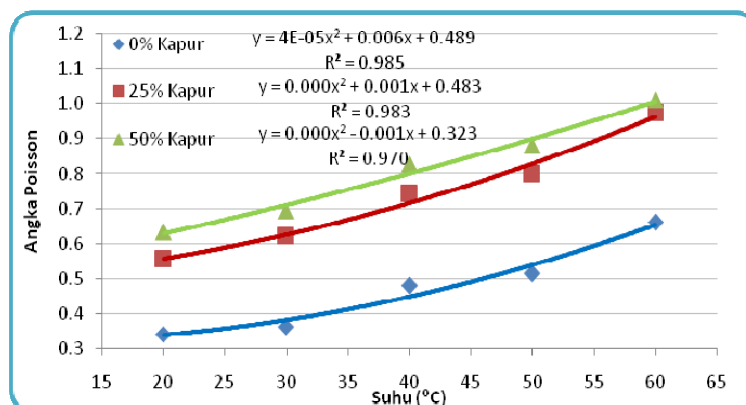


Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Komposisi Kadar Kapur terhadap Modulus Elastisitas pada Variasi Suhu
 Sumber: Hasil Analisis 2012

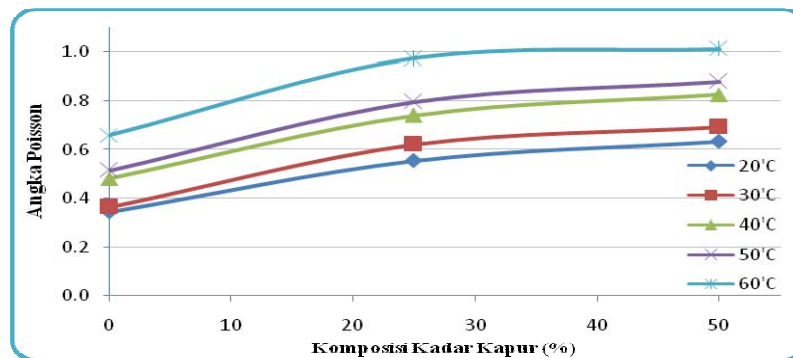
Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pehitungan Angka Poisson dengan Penambahan Variasi Kapur dan variasi Suhu.

Pengujian	Kadar Kapur	Suhu (°C)				
		20	30	40	50	60
Angka Poisson	0%	0.34	0.36	0.48	0.51	0.66
	25%	0.55	0.62	0.74	0.80	0.97
	50%	0.63	0.69	0.83	0.88	1.01

Sumber : Hasil Penelitian 2012



Gambar 11. Grafik Hubungan Antara Suhu terhadap Angka Poisson pada komposisi Kadar Kapur
 Sumber : Hasil Analisis 2012



Gambar 12. Grafik Hubungan Antara Suhu terhadap Angka Poisson pada komposisi Kadar Kapur
 Sumber : Hasil Analisis 2012

Dari gambar 11, hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pengujian (dari 20°C sampai 60°C) maka semakin tinggi angka poisson (dari 0,34 menjadi 0,66) campuran beton aspal. Hasil ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya Suhu maka regangan horizontal dan regangan vertikal yang terjadi semakin besar sehingga campuran menjadi lentur dan angka poissonnya semakin besar. Hal ini disebabkan oleh sifat aspal yang viscolastis serta sensitif terhadap Suhu.

Pengaruh variasi kapur terhadap Angka Poisson pada campuran beton aspal cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar kapur. Untuk campuran dengan kadar kapur 0% pada suhu 20°C memiliki nilai Angka Poisson sebesar 0.34, kadar kapur 25% sebesar 0.55, dan kadar kapur 50% Angka Poisson sebesar 0.66. Peningkatan Angka Poisson ini disebabkan oleh semakin besar kadar kapur yang membuat kadar aspal juga meningkat sehingga membuat campuran beton aspal juga menjadi lebih lentur ketika beban diberikan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

a. Pengaruh komposisi kadar kapur terhadap modulus elastisitas campuran beton aspal semakin menurun dengan bertambahnya kadar kapur yaitu pada suhu 20°C dengan kadar kapur 0% sebesar 792.42 Mpa, kapur 25% sebesar

503.92 Mpa dengan persentase penurunan (-36.4%), kadar kapur 50% sebesar 402.72 Mpa dengan persentase penurunan (-49.2%). Namun hal ini berbanding terbalik dengan angka poissonnya dimana semakin bertambah kadar kapur maka angka poissonnya semakin tinggi pula, kenaikan angka poisson pada suhu 20°C dengan kadar kapur 0% sebesar 0.34, kapur 25% sebesar 0.55 dengan persentase kenaikan (62.4%), kadar kapur 50% sebesar 0.63 dengan persentase penurunan (85.4%).

- b. Pengaruh suhu terhadap modulus elastisitas campuran beton aspal semakin menurun dengan bertambahnya suhu yaitu pada kadar kapur 25% dengan suhu 20°C sebesar 503.92 Mpa, suhu 30°C sebesar 366.56 Mpa, suhu 40°C sebesar 269.76 Mpa, suhu 50°C sebesar 128.73 Mpa, suhu 60°C sebesar 49.65 Mpa. Namun hal ini berbanding terbalik dengan angka poissonnya dimana semakin tinggi suhu maka angka poissonnya semakin tinggi pula, yaitu pada kadar kapur 25% dengan suhu 20°C sebesar 0.55, suhu 30°C sebesar 0.62, suhu 40°C sebesar 0.74, suhu 50°C sebesar 0.80, suhu 60°C sebesar 0.97.
- c. Berdasarkan hasil diatas bawah semakin bertambahnya kapur membuat campuran menjadi lebih lentur sehingga berdasarkan 3 variasi kapur yang digunakan (0%, 25%, dan 50%) yang paling baik adalah kadar kapur 0%.

5.2 Saran

- a. Jika dilakukan pengujian pengaruh suhu terhadap modulus elastisitas dan angka *poisson* dengan kapur sebagai *filler* maka disarankan menggunakan *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* sehingga dapat melihat mengetahui pengaruh modulus elastisitas dan angka *poisson* pada lapis *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*.
- b. Pada pengujian *Indirect Tensile Strength*, digunakan alat marshall yang dimodifikasi. Jika dilakukan penelitian serupa, disarankan menggunakan alat digital untuk mengukur regangan horisontal agar pembacaan lebih mudah.
- c. Pada penelitian ini, sumber material berasal dari Stone Crusher Taipa, mengingat wilayah Sulawesi kaya akan material, maka perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan sumber material dari wilayah lainnya, guna mendapatkan perbandingan karakteristik agregat yang digunakan.
- d. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dan dilakukan perbandingan antara AC-WC yang menggunakan variasi kapur padam dan AC-WC yang menggunakan variasi kapur lain (seperti batu kapur), mengingat kapur merupakan material lokal yang ada di Sulawesi Tengah.
- e. Jika dilakukan pengujian pengaruh suhu terhadap modulus elastisitas dan angka *poisson* dengan kapur sebagai *filler* maka disarankan menggunakan kadar kapur yang persentasenya lebih kecil dari 50% dengan interval yang tidak terlalu jauh seperti (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) sehingga hasilnya dapat lebih akurat.

Yoder, E.Y. and MW Witczak, 1975, *Principles of Pavement Design*. New York: Wiley Interscience Publication

6. DAFTAR PUSTAKA

[Http://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_carbonate](http://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_carbonate) diakses tanggal 4 febuari 2012

Standar Nasional Indonesia, 2008, *Cara Uji Modulus Elastisitas Batu dengan Tekanan Sumbu Tunggal*, Jakarta.