

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya yang begitu besar, maka penulis dapat menyelesaikan pembuatan tesis dengan judul “**Kajian Laboratorium Pengaruh Bahan Tambah Gondorukem pada Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) Terhadap Nilai Propertis Marshall dan Durabilitas** “ ini dengan baik.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pengelola Program Magister Teknik Sipil dan para dosen pembimbing kami, yaitu : Ir. Das'at Widodo, MT.(Alm), Ir. Djoko Purwanto, MS. dan Drs. Bagus Priyatno, ST, MT. atas bimbingan masukan, kritik dan saran yang diberikan sangat berguna dalam pembuatan tesis ini. Terima kasih pula penulis ucapkan kepada para pimpinan dan staf laboratorium ATS, para pimpinan dan staf laboratorium UNDIP, teman-teman, saudara dan segenap pihak yang tidak dapat dituliskan di sini, yang telah banyak terlibat dan membantu pembuatan tesis ini.

Akhir kata, semoga tesis ini bisa bermanfaat kepada semua pembacanya dan kepada semua pihak yang telah membantu baik yang terlibat langsung maupun tidak langsung, penulis berdoa semoga segala bantuan dan kebajikannya diberikan pahala yang setimpal oleh Tuhan Yang Maha Esa. Terima Kasih.

Semarang,

2007

Sih Rianung, ST

ABSTRAKSI

Aspal yang berfungsi sebagai perekat agregat dalam campuran aspal beton sangat penting dipertahankan kemampuannya terhadap kelekatan, titik lembek dan kelenturannya. Untuk mempertahankan atau meningkatkan sifat-sifat aspal tersebut salah satunya bisa dengan menggunakan bahan tambah / aditif.

Gondorukem yang merupakan hasil destilasi/ penyulingan getah pinus yang berbentuk padatan berwarna kuning jernih sampai kuning tua, dicoba digunakan sebagai bahan tambah / aditif aspal dalam pengujian campuran beraspal panas jenis Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC).

Dari hasil pengujian sifat fisik aspal pen 60/70 dengan penambahan Gondorukem variasi 1%, 2%, 3% dan 5% terhadap berat aspal berpengaruh terhadap sifat titik lembek dan nilai penetrasi dengan pola hampir linier berbanding terbalik. Makin besar persentase bahan tambah Gondorukem dapat meningkatkan titik lembek dan juga menurunkan nilai penetrasi akan tetapi juga terjadi penurunan nilai titik nyalanya.

Dalam Uji sifat-sifat Marshall, pada kadar aspal awal 4,5% - 6,5% dari penelitian Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk Aspal murni, Aspal-Gondorukem (As-rukem) variasi 1%, 2%, 3% dan 5% berturut-turut sebesar 5,8%, 6,0%, 5,8%, 5,7% dan 5,9% dari berat total campuran.

Penggunaan pengaruh pada bahan tambah Gondorukem dengan variasi 1%, 2% 3% dan 5% pada Kadar Aspal Optimal (KAO) dengan masa perendaman 24, 48, 72 dan 96 jam untuk 2x75 tumbukan memberikan pengaruh pada penurunan Berat Isi/ kepadatan, persentase VMA dan VIM naik, persentase VFB turun, nilai stabilitas dan flow mengecil, nilai MQ lebih besar dan untuk 2x400 tumbukan adalah untuk Berat Isi/ kepadatan mengalami kenaikan, persentase VMA dan VIM turun, persentase VFB naik, nilai stabilitas dan flow mengecil, nilai MQ lebih besar sehingga campuran aspal beton lebih kaku dan mudah retak serta berkurang kekuatan dan kelenturannya jika terendam air.

Dari hasil penelitian uji durabilitas baik kondisi 2 x 75 tumbukan maupun kondisi 2x400 tumbukan terjadi kerusakan campuran lebih cepat jika dibanding dengan menggunakan aspal murni.

Gondorukem jika digunakan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal panas AC-BC mempunyai kinerja yang lebih baik jika digunakan pada jalan dalam kondisi kering. Paling optimal ditunjukkan pada As-rukem 2% karena semua parameter uji aspal dapat dipenuhi dan mempunyai karakteristik Marshall yang dianggap paling optimal jika dibandingkan dengan menggunakan aspal murni. Akan tetapi pada kondisi jalan yang sering terendam air, penggunaan gondorukem sebagai bahan tambah tidak direkomendasikan untuk digunakan karena stabilitasnya cenderung lebih cepat mengalami penurunan.

ABSTRACT

Functioning asphalt as aggregate glue in concrete asphalt mixture, of very important to be defended the capability to its adhesiveness, the flabby point and the flexibility. To defend or increase that asphalt characteristics, one of ways are by using additional material.

Gum Rosin which is result of distillation of pine gum which is in the form pure yellow until bright yellow solid matter, tried to used as an additional material of asphalt in experiment of mixed hot asphalt has type Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC).

From result of assaying of physic characteristic pen asphalt 60/70 by adding variation Gum Rosin 1%, 2%, 3% and 5% to asphalt weight has effect to flabby point characteristic and penetration value with pattern close to linier inversely proportional. The higher percentage of additional material Gum Rosin will increase flabby point of asphalt and decrease value of penetration but also decrease value of burning point.

In testing of Marshall characteristics, the beginning asphalt content 4,5% - 6,5% of Optimum Asphalt Content (KAO) for pure asphalt, variation Asphalt - Gum Rosin 1%, 2%, 3% and 5% respectively amount 5, 8%, 6.5%, 5.8%, 5.7% and 5.9% from mixed total weight.

Using influence at additional material Gum Rosin with variation 1%, 2%, 3% and 5% at Optimum Asphalt Content (KAO) with soaking term 24, 48, 72, and 96 hours for 2x75 pounds give influence at weight loss of content/density, percentage VMA and VIM decrease, percentage VFB increase, stability value and flow disparage, MQ value is higher and to 2x400 pounds are content/density have an increase, percentage VMA and VIM have an increase, and percentage of VFB have a decrease, stability value and flow disparage, MQ value is higher so that mixed concrete asphalt is stiffer and easy to crack and also its power and flexibility are lower if they are submerged.

The result of durability experiment research either condition 2 x 75 pounds or condition 2 x 400 pounds, there is a mixed damage faster compared to using pure asphalt.

If Gum Rosin is used as additional material at hot mixed asphalt AC-BC have good capability if it used in dry way, the most optimal condition at Asphalt Gum Rosin are 2% and have the characteristic of Marshall which is regarded to be the most optimal from the balance of the hollow and the asphalt covering toward the aggregates in higher stability mixing and more rigid mixing so that it can bear the heavier traffic burden so as not to suffer from plastics deformation but at conditional of way is submerged, using Gum Rosin as additional material is not recommended to use these cause decrease of stability.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dari Pengkajian Penanganan Deformasi Plastis dan Retak akibat Beban Lalu Lintas oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum (2007), kerusakan yang dominan terjadi pada ruas-ruas jalan yang melayani lalu lintas berat dengan waktu pembebanan relatif lama adalah deformasi plastis dan retak. Kerusakan tersebut biasanya terjadi di daerah tanjakan, turunan, persimpangan, dan pintu Tol. Disamping pengaruh waktu pembebanan, pada lokasi-lokasi tersebut sering terjadi akselerasi dan deselerasi. Campuran yang tahan terhadap deformasi plastis adalah memiliki gradasi rapat (*dense*), agregat ukuran besar/gradasi kasar, pecah dengan tekstur permukaan kasar dan proporsi agregat halus yang tepat serta pemadatan yang cukup saat konstruksi. Rutting/deformasi plastis dapat terjadi akibat dari kadar aspal tinggi, *VIM* (*Void In the Mix*) rendah serta bahan pengikat (aspal) mempunyai titik leleh dan kekakuan rendah.

Aspal berfungsi sebagai perekat batuan baik agregat maupun *filler* menjadikan hal yang sangat penting untuk dipertahankan kemampuannya terhadap kelekatan, titik leleh dan kelenturannya. Akan tetapi dengan semakin majunya proses teknologi kilang maka semakin banyak *short* residu yang merupakan bahan dasar aspal terus diupayakan untuk diolah menjadi bahan pelumas. Salah satu syarat pelumas adalah tidak ada parafin pada pelumas tersebut, kandungan parafin yang merupakan kandungan *short* residu terbuang tercampur dalam aspal. Dampak dari situasi ini adalah tingginya kadar parafin dalam aspal, yang akan menurunkan sifat – sifat aspal yaitu kelekatan, titik leleh dan kelenturan. Untuk mempertahankan atau meningkatkan sifat-sifat aspal tersebut maka diperlukan penambahan bahan tambah / aditif pada aspal.

Beberapa perusahaan telah mengembangkan produk aspal dengan bahan aditif yang mampu memberi performa positif pada aspal atau memiliki sifat

kelekatan, titik lembek, kelenturan yang lebih tinggi dibanding dengan aspal biasa. Produksi pabrikan aspal dengan bahan aditif atau sering disebut aspal polimer diantaranya adalah BituPlus® produk aspal polimer dari PT. Tunas Mekar Adi Perkasa dan Aspal Prima 55 Multigrade aspal polimer dari PT. Mitra Olah Bumi. Harga aspal polimer pabrikan cukup mahal berkisar 130% untuk BituPlus® dan 180% untuk Aspal Prima 55 Multigrade lebih mahal dari harga aspal biasa.

Untuk mendapatkan aditif pada aspal dengan harga yang relatif lebih murah akan dilakukan percobaan dengan menggunakan suatu bahan yang dihasilkan dari getah pohon pinus yang bernama Gondorukem. Sebagai gambaran harga bahan aditif ini adalah untuk harga Gondorukem sebesar 475 US \$/ ton atau seharga Rp. 4.275/kg (harga Gondorukem PT. Perhutani awal Januari 2006) jika 1 US \$ senilai Rp. 9.000,-. Harga aspal murni sebesar Rp. 4.270,- / kg (harga aspal bulan April 2006 sesuai analisa Pemkot Semarang). Dengan penambahan bahan tambah Gondorukem 5% dari kadar aspal, harga Aspal-Gondorukem tidak banyak berbeda karena atau berkisar Rp. 4.500,-/ kg (sudah termasuk biaya pencampuran).

Dari hasil penelitian pendahuluan dengan percobaan Laston Lapis Pengikat atau *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)* dengan kadar aspal 5,5% dari berat campuran dan kadar Gondorukem 5% dari kadar aspal menghasilkan peningkatan titik lembek, penurunan nilai penetrasi dan peningkatan stabilitas pada uji *Marshall* dibandingkan dengan menggunakan aspal biasa (murni).

Oleh sebab itu Gondorukem sebagai bahan tambah aspal untuk tema di dalam menyusun Tesis dengan judul Pengaruh Bahan Tambah Gondorukem pada Campuran Beraspal Panas jenis Lanston Lapis Pengikat atau *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)* melalui pengujian *Marshall* dan durabilitas.

1.2. Maksud dan Tujuan.

Penelitian ini dilaksanakan dengan maksud dan tujuan sebagai berikut :

1.2.1. Maksud Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui perubahan perilaku campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC) dengan membandingkan menggunakan bahan pengikat antara menggunakan aspal murni dan aspal murni dengan bahan tambah/ aditif yaitu Gondorukem atau disebut juga Aspal-Gondorukem (As-rukem) melalui uji *Marshall* dan durabilitas.

1.2.2. Tujuan Penelitian.

- a. Mengetahui pengaruh bahan tambah / aditif yaitu Gondorukem dengan melakukan beberapa uji variasi terhadap persentase berat kadar aspal pada pengujian sifat – sifat fisik aspal.
- b. Mencari persentase Kadar Aspal Optimal dengan bahan tambah Gondorukem dilihat dari sifat *Marshall* seperti stabilitas, *flow*, *VIM* (*Void In the Mix*), *VFB* (*Void Fill with Bitumen*), *VMA* (*Void in the Mineral Aggregate*), dan *Marshall Quotient*.
- c. Mengkaji dan mengevaluasi perilaku campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC) dengan penggunaan bahan tambah / aditif yaitu Gondorukem atas kemampuan mempertahankan kualitasnya dari kerusakan setelah dilakukan perendaman.

1.3. Manfaat Penelitian

Menemukan alternatif suatu bahan tambah aspal /aditif baru yang murah, mudah didapatkan, pengolahan cukup sederhana, bahan yang ramah lingkungan dan berasal dari bahan yang dapat diperbaharui yang sekaligus diharapkan dapat memberikan sumbangan yang positif terhadap pengembangan teknologi konstruksi perkerasan jalan di Indonesia.

1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini bahan material yang digunakan sebagai berikut:

1. Fraksi Agregat kasar, berasal dari batu ex-Kalikuto diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang).
2. Fraksi Agregat halus (pasir kali) menggunakan pasir kali asal Muntilan
3. Fraksi bahan pengisi (*Filler*) menggunakan abu batu hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang).
4. Rencana campuran menggunakan target gradasi dengan melakukan penyaringan dan penimbangan sesuai dengan rencana masing-masing grading (*ponthok - ponthok*).
5. Gondorukem digunakan kualitas WW (*Water white*), bahan yang didapatkan dari PT. Perum Perhutani Semarang.
6. Untuk bahan aspal menggunakan aspal PERTAMINA Penetrasi 60/70.
7. Pencampuran menggunakan pedoman Spesifikasi Campuran Aspal Standar Bina Marga, Pebruari 2004
8. Uji *Marshall* & uji durabilitas dengan perendaman di dalam air selama 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam pada kondisi Kadar Aspal/ Asrukem kondisi Optimum..
9. Menggunakan variasi penambahan Gondorukem 1%, 2%, 3% dan 5% dari berat kadar aspal.
10. Tidak melakukan penelitian reaksi kimia untuk senyawa campuran aspal Gondorukem hanya meneliti berdasarkan sifat – sifat fisiknya saja.

1.5. Hipotesis

Dari penelitian ini, diharapkan dengan menggunakan Gondorukem sebagai bahan aditif aspal menghasilkan performa positif pada sifat kelekatan, titik lembek, kelenturan dan perbaikan pada sifat campuran beraspal panas *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC) terhadap sifat-sifat *Marshall* seperti stabilitas, *flow*, *VIM* (*Void In the Mix*), *VFB* (*Void Fill with*

Bitumen), *VMA (Void in Mineral Aggregate)*, dan *Marshall Quotient* serta kemampuan mempertahankan keawetannya terhadap pengaruh air jika dibandingkan dengan menggunakan aspal biasa (murni).

1.6. Sistematika Penulisan

Pada penelitian ini, penulisan dilakukan dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Mengemukakan tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang teori-teori yang dijadikan dasar dalam pembahasan dan penganalisaan masalah, serta beberapa definisi dari studi literatur yang berhubungan dalam penulisan ini dan penelitian yang pernah dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini berisi uraian tentang metode, bahan, peralatan, dasar perhitungan yang digunakan serta cara pengujian yang dilakukan didalam penelitian ini.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Menyajikan data yang diperoleh dari hasil perhitungan dan pengujian dalam penelitian ini. Selanjutnya data tersebut kemudian diolah dan dianalisa sehingga akan menghasilkan informasi yang berguna.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini dikemukakan tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran dari peneliti berdasarkan analisis yang dilakukan pada bab-bab sebelumnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aspal

Aspal dibuat dari minyak mentah (*crude oil*) dan secara umum berasal dari sisa organisme laut dan sisa tumbuhan laut dari masa lampau yang tertimbun oleh pecahan batu batuan. Setelah berjuta juta tahun material organisme dan lumpur terakumulasi dalam lapisan-lapisan ratusan meter, beban dari beban teratas menekan lapisan yang terbawah menjadi batuan sedimen. Sedimen tersebut yang lama - kelamaan menjadi atau terproses menjadi minyak mentah yang menjadi senyawa dasar *hydrocarbon*. Aspal biasanya berasal dari destilasi dari minyak mentah, namun aspal ditemukan juga sebagai bahan alam (misal : asbuton), dimana sering juga disebut mineral (*Shell Bitumen, 1990*)

Aspal adalah sistem koloidal yang rumit dari material *hydrocarbon* yang terbuat dari *Asphaltenes, resin* dan *oil*. Material Aspal berwarna coklat tua sampai hitam dan bersifat melekat, berbentuk padat atau semi padat yang didapat dari alam dengan penyulingan minyak. (*Kreb, RD & Walker, RD., 1978*)

Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa yang komplek seperti *Asphaltenes, resin* dan *oil*. *Asphaltenes* material susunan pembentuk dari aspal dan *resin* mempengaruhi dari sifat-sifat adesi dan daktilitas, *oils* berpengaruh terhadap viskositas dan *flow* (*Hunter RN, 1994*)

Soeprapto Totomihardjo (1994), aspal merupakan senyawa hidrogen (H) dan carbon (C) yang terdiri dari *paraffins, naphtene* dan *aromatics*, bahan-bahan tersebut membentuk :

- a. *Asphaltenese* : Kelompok ini membentuk butiran halus, berdasarkan *aromatics/ benzene structure* serta berat molekul tinggi.
- b. *Oils* : Kelompok ini berbentuk cairan yang melarutkan *asphaltenese*, tersusun dari *paraffins (waxy), cyclo paraffins (wax-free)* dan *aromatics* serta mempunyai berat molekul rendah.
- c. *Resin* : Kelompok ini membentuk cairan penghubung *asphaltenese* dan mempunyai berat molekul sedang. Selanjutnya gabungan *oils* dan *resin* sering disebut *maltenese*

Dewasa ini kebanyakan aspal dipandang sebagai sebuah sistem koloidal yang terdiri dari komponen molekul berat yang disebut *Asphaltenes*, dispersi/ hamburan didalam minyak perantara disebut *maltenes*. Bagian dari *maltenes* terdiri dari

molekul perantara yang disebut *resins* yang dipercaya menjadi instrumen di dalam menjaga dispersi *asphaltenes*. (Koninklijke/Shell-laboratorium-1987)

Fungsi kandungan aspal dalam campuran juga berperan sebagai selimut agregat dalam bentuk *film* aspal yang berperan menahan gaya gesek permukaan dan mengurangi kandungan pori udara yang juga berarti mengurangi penetrasi air ke dalam campuran (*Crauss, J et al*, 1981).

Anang Priambodo (2003) di dalam tesisnya mendefinisikan aspal juga merupakan material yang bersifat *visco-elastis* dan mempunyai ciri-ciri beragam mulai dari yang bersifat sangat melekat sampai dengan yang bersifat elastis. Diantara sifat-sifat aspal yang lain adalah :

- a. Aspal mempunyai sifat *Thrixotropy*, yaitu dibiarkan tanpa mengalami tegangan - tegangan aspal akan menjadi keras sesuai dengan jalannya waktu.
- b. Aspal mempunyai sifat *Rheologic*, yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) yang dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, namun pembebanan yang terjadi cukup lama sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).
- c. Aspal adalah bahan yang *Thermoplastis*, yaitu konsistensi atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur maka viskositasnya semakin rendah atau aspal akan semakin encer, demikian pula sebaliknya.

Penuaan aspal adalah suatu parameter untuk mengetahui durabilitas campuran aspal. Penuaan aspal disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (penuaan jangka pendek) dan oksidasi yang progresif (penuaan jangka panjang). Kedua proses penuaan ini menyebabkan terjadinya perkerasan pada aspal dan selanjutnya meningkatkan kekakuan campuran beraspal yang dapat meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen dan kemampuan menyebarkan beban yang diterima, tetapi dilain pihak campuran aspal akan menjadi lebih getas sehingga akan cepat retak dan akan menurunkan ketahanan terhadap beban berulang.

Jenis pengujian dan persyaratan aspal seperti tercantum di Tabel 2.1

Tabel.2.1. Pengujian dan persyaratan untuk aspal penetrasi 60

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Persyaratan
1	Penetrasi; 25°C; 100gr.; 5detik; 0,1mm	SNI 06-2456-1991	60 – 79
2	Titik lembek; °C	SNI 06-2434-1991	48 – 58
3	Titik nyala; °C	SNI 06-2433-1991	min. 200
4	Daktilitas; 25°C; cm	SNI 06-2432-1991	min. 100
5	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	min. 1,0

6	Kelarutan dlm. Triclor Ethylen; %berat	SNI 06-2438-1991	min. 99	
7	Penurunan Berat (dg. TFOT); %berat	SNI 06-2440-1991	maks. 0,8	
8	Penetrasi setelah penurunan berat; % asli	SNI 06-2456-1991	min. 54	
9	Daktilitas setelah penurunan berat; % asli	SNI 06-2432-1991	min. 50	
10	Uji bintik (spot test)	Standar Napta	AASHTO T.102	negatif
		Napta Xylene		
		Hephtane Xylen		

Catatan : Penggunaan pengujian spot tes adalah pilihan (optional). Apabila disyaratkan direksi dapat menentukan pelarut yang akan digunakan, naptha, naptha xylene atau heptane xylene

Sumber : Spesifikasi Campuran Aspal Panas 2004

Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah

2.2. Aspal Modifier

Dengan kemajuan teknologi pada saat ini banyak dihasilkan bahan tambah atau modifier, sering juga disebut aditif, yaitu suatu bahan yang dapat dicampurkan atau ditambahkan pada aspal atau batuan.

Untuk hal ini ada baiknya kalau dapat diketahui mengenai susunan rangkaian dari atom yang ada pada aspal, menurut *G.T Austin*, ditinjau dari sudut kimia aspal merupakan suatu rangkaian atom atau “polymer”. Polimer satu dengan polimer satunya tidak berkaitan secara kuat karena adanya ikatan rangkap pada struktur molekul tersebut atau biasa disebut “Co-polymer”. Sifat sifat *Co-polymer* tersebut secara umum bersifat antara lain :

- Stabilitas yang rendah
- Kurangnya ketahanan terhadap suhu.
- Mudahnya mengikat atom bebas.

Tabel 2.2 . GENERIC CLASSIFICATION OF ASPHALT MODIFYER

TYPE		EXAMPLE
1	<i>Filler</i>	<i>Mineral Filler</i> <i>crusher filler</i> <i>lime</i> <i>porland cement</i> <i>fly ash</i> <i>Carbon black</i> <i>Sulfur</i>
2	<i>Extender</i>	<i>Sulfur</i> <i>Lignin</i>
3	<i>Rubber</i> <i>a. Natural Latex</i> <i>b. Synthetic Latex</i> <i>c. Block Polimer</i> <i>d. Reclaimed Rubber</i>	<i>POLYMERS</i> <i>Natural Rubber</i> <i>Styrene-butadjene (SBR)</i> <i>Styrene-butadjene-styrene (SBS)</i> <i>Recycled tires</i>
4	<i>Palstic</i>	

		<i>Ethil-vinil-acetate (EVA)</i> <i>Polivinyl-chloride (PVC)</i>
5	<i>COMBINATION</i>	
6	<i>Fiber</i>	<i>Natural</i> <i>Rock Wool</i> <i>Man Made :</i> <i>Polypropylene</i> <i>Polyester</i> <i>Fiberglas</i>
7	<i>Oxidant</i>	<i>Manganese Sals</i>
8	<i>Antoxidant</i>	<i>Lead Compounds</i> <i>Carbon</i> <i>Calcium salts</i>
9	<i>Hydrocarbon</i>	<i>Recycling and rejuvenating oil</i> <i>Hardening and natural asphalt</i>
10	<i>Antistrip</i>	<i>Aminer</i> <i>Lime</i>

Sumber : Terrel & Epps

Adanya sifat-sifat yang kurang menguntungkan tersebut para ahli berusaha menemukan bahan yang dapat memperbaiki sifat kimiawi dari aspal. Akhirnya ditemukan berbagai macam bahan tambah yang berfungsi sebagai katalisator pada reaksi kimia pada aspalnya. Lewat reaksi kimia katalisator ini mengubah ikatan rangkap pada aspal menjadi ikatan – ikatan tunggal pada rantai panjang, yang lasim disebut polimer, yang bertindak sebagai katalisator untuk memperbaiki struktur molekul pada aspal. Klasifikasi aspal modifier dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Dengan perbaikan struktur molekul dalam aspal, artinya setelah pemakaian bahan tambah / aditif akan dapat merubah sifat-sifat aspal antara lain :

- a. Meningkatkan stabilitas.
- b. Mengurangi kepekaan terhadap suhu.
- c. Meningkatkan ketahanan terhadap deformasi.

2.3. Gondorukem.

Gondorukem adalah istilah yang digunakan sebagai sebutan umum untuk produk pengolahan getah dari pohon jenis pinus. Sebutan Gondorukem ini berawal dari penggunaan getah sebagai penambal kapal kayu yang bocor.

Industri Gondorukem dunia dimulai sekitar 100 tahun yang lalu. Di Amerika sudah ada industrinya pada tahun 1830. Di Indonesia industri

Gondorukem dimulai sekitar tahun 1938, dengan pabrik pertamanya di Takengon (Aceh).

Gondorukem bahan yang berharga murah dan mudah merupakan resin natural didapat dan hasil destilasi/ penyulingan dari getah pinus dan berupa padatan berwarna kuning jernih sampai kuning tua. Kualitas getah akan menentukan kualitas dan rendemen Gondorukem yang dihasilkan. Getah pohon pinus mengandung 70 –75% Gondorukem, 20-25% terpentin. (*Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol.A23-1993)

Dengan perkembangan teknologi industri, Gondorukem digunakan sebagai bahan *paper size, additive, printing ink*, industri permen karet, industri ban dan masih banyak lagi (Buku Panduan Prosesing Gondorukem dan Terpentin – Devisi Industri Perum Perhutani)

Tabel 2.3 Kualitas Mutu Gondorukem

Spesifikasi	Standard			
	X	WW	WG	N
1. Titik lunak metode ring & ball	$\geq 78^{\circ} \text{C}$	$\geq 78^{\circ} \text{C}$	$\geq 76^{\circ} \text{C}$	$\geq 74^{\circ} \text{C}$
2. Uji Warna dengan Lovibond	sesuai contoh	sesuai contoh	sesuai contoh	Sesuai contoh
3. Kadar Kotoran	$\leq 0.02\%$	$\leq 0.05\%$	$\leq 0.07\%$	$\leq 0.10\%$
4. Bilangan Asam (<i>Acid Value</i>)	160 – 190			
5. Bilangan Penyambunan (<i>Saponification Value</i>)	170 – 220			
6. Bilangan Iod (<i>Iodine Value</i>)	5 - 25			
7. Kadar Abu (<i>Ash Content</i>)	$\leq 0.01\%$	$\leq 0.04\%$	$\leq 0.05\%$	$\leq 0.08\%$
8. Kadar Terpenting Tersisa (<i>Volatile Oil Content</i>)	$\leq 2\%$	$\leq 2\%$	$\leq 2.5\%$	$\leq 3\%$
Keterangan : X (<i>Rex</i>) = Warna yang paling jernih WW (<i>Water White</i>) = Warna yang beningnya seperti air WG (<i>Window Glass</i>) = Warna bening seperti kaca jendela N (<i>Nancy</i>) = Warna kuning- kecoklat coklatan				

Sumber : SNI 01-5009.12.2001

Gondorukem merupakan bahan padat dan mudah terbakar jika dicairkan. Bahan ini merupakan bahan yang sangat cepat menyerap panas ataupun api.

Gondorukem dibedakan berdasarkan kualitas/mutu yang berdasarkan warna, titik lunak dan kadar kotoran sesuai spesifikasi SNI 01-5009.12.2001 tersebut pada Tabel. 2.3 diatas.

2.4. Agregat.

Yang dimaksud agregat dalam hal ini adalah berupa batu pecah, krikil, pasir ataupun komposisi lainnya, baik hasil alam (*natural aggregate*), hasil pengolahan (*manufactured aggregate*) maupun agregat buatan (*syntetic aggregate*) yang digunakan sebagai bahan utama penyusun perkerasan jalan (Das'at Widodo,1999). Menurut Pedoman No. 023/T/BM/1999, SK No. 76/KPTs/Db/1999. Pedoman Teknik Perencanaan Campuran beraspal Panas dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak Dep. Kimpraswil Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Prasarana Jalan, agregat dibedakan dalam beberapa kelompok yaitu :

- a. Agregat kasar, yaitu batuan yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm) terdiri atas batu pecah atau kerikil pecah.

Agregat kasar dalam campuran beraspal panas untuk mengembangkan volume mortar dengan demikian membuat campuran lebih ekonomis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan.

- b. Agregat halus, yaitu batuan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan saringan No. 200 (0.075 mm) terdiri dari hasil pemecahan batu atau pasir alam.

Fungsi utama dari agregat halus adalah untuk mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan dan gesekan antar partikel, berkenaan dengan itu agregat halus harus memiliki kekerasan yang cukup dan mempunyai sudut, mempunyai bidang pecah permukaan, bersih dan bukan bahan organik.

- c. Agregat pengisi (*filler*), terdiri atas bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.(SK. SNI M-02-1994-03).

Fungsi dari *Filler* adalah untuk meningkatkan viskositas aspal dan untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur. Hasil penelitian umumnya

menunjukkan bahwa meningkatnya jumlah bahan pengisi (*filler*) cenderung akan meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga dalam campuran.

- d. Gradasi agregat gabungan adalah gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas – batas dan harus berada diluar daerah larangan (*Restriction Zone*), yang diberikan pada Tabel 2.5. Gradasi agregat gabungan juga harus mempunyai jarak terhadap batas - batas toleransi yang diberikan dalam Tabel 2.5.

Adapun persyaratan untuk agregat dan standar uji serta batasan batasan tercantum dalam Tabel 2.4

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Persyaratan
A. Agregat Kasar			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	maks. 3%
2	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990	min. 2.5 gr/cc
3	Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	maks. 40%
4	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	min. 95%
5	Partikel pipih	ASTM D-4791	maks. 25%
6	Partikel Lonjong	ASTM D-4791	maks. 10%
B. Agregat Halus			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	maks. 3%
2	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990	min. 2.5 gr/cc
3	Nilai setara pasir	AASHTO T-176	min. 50%
C. Filler			
1	Material lolos saringan no.200	SNI M-02-1994-03	min. 70%

2.5. Gradasi

Hasil kajian yang dilakukan Balitbang Dep PU pada Tahun 2004, telah diperoleh bahwa gradasi agregat campuran yang memiliki ketahanan terhadap deformasi plastis namun masih memiliki ketahanan terhadap retak adalah gradasi agregat gabungan yang memotong kurva Fuller dan pada fraksi halus berada dibawah daerah yang dilarang.

Superpave menetapkan gradasi dengan 2 (dua) spesifikasi khusus yaitu target gradasi berada didalam batas titik kontrol (*control point*) dan menghindari daerah penolakan / larangan (*restricted zone*) . Titik titik kontrol berfungsi batas rentang dimana target gradasi harus lewat. Titik – titik kontrol tersebut diletakan di ukuran maksimum nominal dan di pertengahan saringan (2,36 mm) dan ukuran saringan terkecil (0,075 mm)

Joko Wardoyo (2003) didalam tesisnya menyebutkan bahwa Kennedy (1996) menyarankan untuk menghasilkan kinerja jalan yang baik dengan volume lalu lintas tinggi dipilih target gradasi yang lewat dibawah daerah penolakan/ larangan.

Untuk persyaratan agregat dan daerah penolakan dapat dilihat pada Tabel 2.5, Gambar 2.1, 2.2 dan ketentuan sifat – sifat campuran pada Tabel 2.6

Untuk campuran AC-BC, kombinasi gradasi agregat dianjurkan tidak berhimpit dengan kurva Fuller. Kurva Fuller disajikan dalam Gambar 2.2. untuk campuran AC-BC digunakan dalam spesifikasi ini diperoleh dari rumus berikut ini :

$$p = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0,45}$$

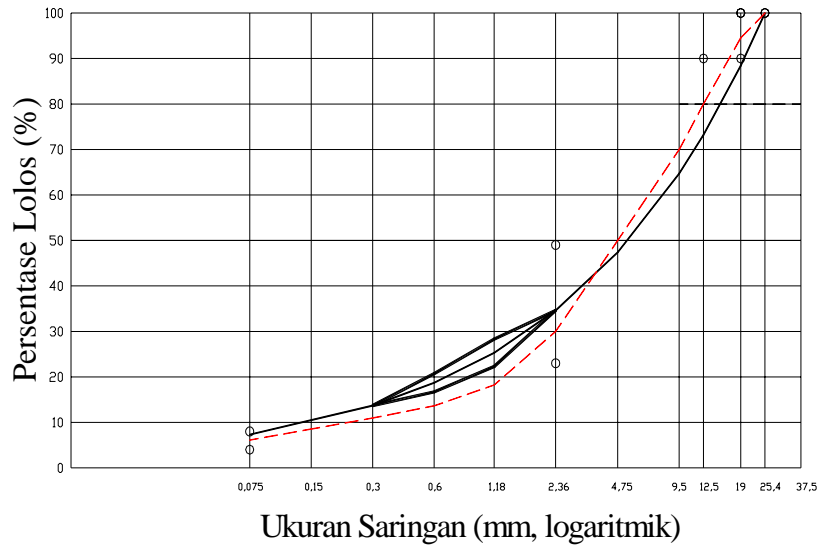
- Keterangan : p : persentase bahan yang lolos saringan d (%)
 D : ukuran butir terbesar (mm)
 d : ukuran saringan yang ditinjau (mm)

Kurva gradasi AC-BC ditunjukkan dalam gambar 2.1 dan 2.2. Pada gambar terlihat bagaimana gradasi ini menghindari daerah larangan melalui bagian bawah daerah tersebut.

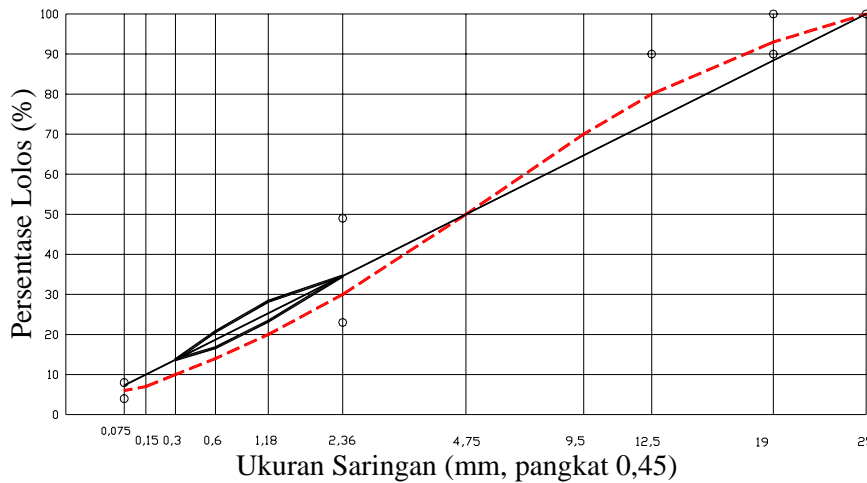
Tabel 2.5 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal AC-BC

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos			
ASTM	(mm)	AC-BC	Daerah Larangan	Fuller	Target
1 1/2"	37,5	-	-	-	-
1"	25	100	-	100.0	100
3/4"	19	90 - 100	-	88.4	98
1/2"	12,5	maks. 90	-	73.2	85
3/8"	9,5	65 - 90	-	64.7	79
no.4	4,75		-	47.4	55
no.8	2,36	23 - 39	34,6	34.6	31

no.16	1,18	18 - 30	22,3 – 28,3	25.3	20
no.30	0,6	13 - 24	16,6 – 20,7	18.7	14
no.50	0,3		13,7	13.7	10
no.200	0,075	4 – 8	-	7.3	4



Gambar 2.2. Gradasi AC-BC dan Titik Kontrol Gradasi



keterangan :
 — : zona terbatas
 — : Fuller M S = 19 m m
 - - - - : target gradasi
 o : titik kontrol

Gambar 2.1. Gradasi AC-BC dan Titik Kontrol Gradasi (Skala Logaritmik)
 (Ukuran Butir Pangkat 0,45)

Tabel 2.6. Ketentuan Sifat-sifat Campuran

Sifat Sifat Campuran		Laston (AC)		
		WC	BC	Base
Penyerapan Aspal (%)	Max	1,2		
Jumlah tumbukan perbidang		75		112
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,5		
	Max	5,5		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	63	60
Stabilitas Marshall	Min	800		1500
	Max	-		-
Pelelehan (mm)	Min	3		5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250		300
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	75		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2,5		

Sumber : Spesifikasi Campuran Aspal Panas 2004

Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah

2.6. Persyaratan Campuran

Perencanaan campuran mencakup kegiatan pemilihan dan penentuan proporsi material untuk mencapai sifat – sifat akhir dari campuran beraspal yang diinginkan (*Asphalt Institute*, 1993).

Bagus Priyatno, (1999), karakteristik campuran beraspal untuk lapis permukaan adalah untuk mendapatkan campuran efektif dari gradasi agregat dan aspal yang akan menghasilkan campuran beraspal yang memiliki sifat – sifat sebagai berikut:

- a. Stabilitas adalah kemampuan campuran untuk melawan deformasi atau perubahan bentuk yang disebabkan oleh beban lalu lintas. Stabilitas tergantung dari gaya gesek (*internal friction*) dan kohesi (*cohesion*). Sedangkan gaya gesek tergantung pada *surface texture*, gradasi agregat, bentuk kombinasi dari gaya gesek dan kemampuan saling mengunci agregat pada campuran.
- b. Fleksibilitas adalah kemampuan lapis permukaan untuk menyesuaikan perubahan bentuk yang terjadi dibawahnya tanpa mengalami retak–retak. Sifat ini bertolak belakang dengan stabilitas, maka dalam perencanaan kedua sifat ini diusahakan dicapai optimumnya, karena usaha memaksimalkan usaha yang satu berarti meminimumkan sifat yang lain. Umumnya fleksibilitas campuran beraspal akan lebih tinggi dengan penambahan kadar

aspal. Jika menggunakan aspal dengan daktilitas tinggi, mengurangi tebal lapis perkerasan dan menggunakan gradasi agregat relatif terbuka.

- c. Durabilitas adalah kemampuan campuran untuk mempertahankan kualitasnya dari kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh cuaca dan beban lalu lintas (oksidasi, *stripping*, disintegasi dari agregat)
- d. *Impermeability* adalah sifat kedap air dan udara yang dimiliki campuran, hal ini erat kaitannya dengan jumlah rongga dalam campuran yang dapat mempengaruhi durabilitas lapis perkerasan. Permukaan perkerasan dapat dimungkinkan kedap air dengan cara menggunakan gradasi rapat atau memperbesar kadar aspal agar nilai *voidnya* kecil.
- e. *Fatigue Resitance* adalah kemampuan pekerasan terhadap kelelahan akibat beban yang berulang-ulang (*load repetition*) dari beban lalu lintas tanpa mengalami retak. Nilai *fatigue resistance* dapat dinaikan dengan cara mempertinggi kadar aspal, mempertebal lapis permukaan dan memperkecil rongga terhadap campuran.
- f. *Skid Resitance* adalah kekesatan lapis permukaan yang berkaitan dengan kemampuan lapis perkerasan untuk melayani arus lalu lintas kendaraan yang lewat di atasnya tanpa terjadi *skidding-slipping* pada saat kondisi permukaan basah. Nilai kekesatan yang tinggi dapat diperoleh dengan cara menggunakan agregat dengan mikrotekstur dan nilai abrasi rendah atau membuat kondisi permukaan kasar sehingga mempunyai makrotekstur tinggi misalnya dengan *chipping* dan mengurangi kadar aspal.
- g. *Workability* adalah sifat kemudahan dari campuran agregat aspal untuk dilaksanakan meliputi pencampuran, penghampanan dan pemadatan. Faktor – faktor yang mempengaruhi dalam pelaksanaan adalah gradasi agregat, temperatur campuran, kandungan *filler* dan loksi penghampanan.

2.7. *Marshall Test*

Konsep *Marshall test* dikembangkan oleh *Bruce Marshall*, seorang insiyur perkerasan pada *Mississippi State Highway*. Pada tahun 1948 *US Cops of Engineering* meningkatkan dan menambah beberapa kriteria pada prosedur testnya, terutama kriteria rancangan campuran. Sejak itu test ini banyak diadopsi oleh berbagai organisasi dan pemerintahan di banyak negara, dengan beberapa modifikasi prosedur ataupun intepretasi terhadap hasilnya.

Parameter penting yang ditentukan pengujian ini adalah beban maksimum yang dapat dipikul briket sampel sebelum hancur atau *Marshall Stability* dan jumlah akumulasi deformasi sampel sebelum hancur yang disebut *Marshall Flow*. Dan juga turunan dari keduanya yang merupakan perbandingan antara *Marshall Stability* dan *Marshall Flow* disebut *Marshall Quotient*, yang merupakan nilai kekakuan berkembang (*pseudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (*Shell Bituman*, 1990). Parameter lain yang penting adalah analisis void yang terdiri dari *Void In the Mix* (VIM), *Void in Material Aggregate* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB) yang ditentukan pada kondisi standar (2x75)

2.8. Durabilitas

Kinerja aspal sangat dipengaruhi oleh sifat aspal tersebut setelah digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal dan dihamparkan di lapangan. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat aspal akan berubah secara signifikan akibat oksidasi dan pengelupasan yang terjadi baik pada saat pencampuran, pengangkutan dan penghamparan aspal di lapangan. Perubahan sifat ini akan menyebabkan aspal menjadi berdaktilitas rendah atau dengan kata lain aspal mengalami penuaan. Kemampuan aspal untuk menghambat laju penuaan ini disebut durabilitas aspal. Pengujian kualitatif aspal biasanya dilakukan untuk mengetahui durabilitas aspal adalah pengujian penetrasi, titik lembek, kehilangan berat dan daktilitas.

Uji durabilitas campuran ini dilakukan untuk mengetahui daya rekat aspal terhadap agregat dengan cara aspal beton direndam dalam air, aspal dengan daya adesi yang kuat akan melekat erat pada permukaan agregat. Durabilitas campuran aspal beton dapat ditinjau dari besaran nilai stabilitas pada *Uji Marshall* setelah dilakukan perendaman.

2.8.1 Durabilitas Standar

Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-1990. Uji perendaman dilakukan pada temperatur $60 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Masing-masing golongan terdiri dari 2 sampel yang direndam pada bak perendaman untuk semua variasi kadar aspal.

Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian Marshall perendaman di dalam air pada suhu 60°C selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (IRS), dan dihitung sebagai berikut :

$$IRS = \left[\frac{MS_i}{MS_s} \right] \times 100 \% \dots\dots\dots(2.1)$$

keterangan:

IRS : Indeks Kekuatan Sisa (*Index Retained Strength*) (%)

- MSi : Stabilitas *Marshall* setelah perendaman 24 jam suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$, (kg)
- MSs : Stabilitas *Marshall* standar pada perendaman selama 30-40 menit pada suhu 60°C , (kg)

Spesifikasi Laston mempunyai syarat IRS harus lebih besar dari 75% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.6.

2.8.2 Durabilitas Modifikasi

Crauss, J et al, 1981, telah mengembangkan parameter tunggal yang dapat menggambarkan kondisi keawetan suatu campuran beraspal panas, setelah melalui serangkaian periode perendaman tertentu. Parameter ini dinamakan Indeks Keawetan yang terdiri dari dua jenis, yaitu indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua. Dalam metode ini dilakukan lama perendaman yaitu , 24, 48, 72 dan 96 jam.

a. Indeks Durabilitas Pertama

Indeks pertama didefinisikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan. Berdasarkan gambar 2.3. indeks (r) dinyatakan sebagai berikut :

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- r : Nilai Penurunan stabilitas (%)
- S₀ : nilai absolut dari kekuatan awal
- S_i : persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_i
- S_{i+1} : persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_{i+1}
- t_i, t_{i+1} : waktu perendaman (mulai dari awal pengujian)

Sebagai contoh, kalau pengukuran diambil setelah 24, 48,72 dan 96 jam perendaman maka indeks kekuatan yang tersisa menjadi :

$$r = \frac{S_{24} - S_{48}}{48 - 24} + \frac{S_{48} - S_{72}}{72 - 48} + \frac{S_{72} - S_{96}}{96 - 72}$$

b. Indeks Durabilitas Kedua

Indeks kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis $S_0 = 100$ persen. Berdasarkan gambar 2.3. indeks (a) ini dinyatakan sebagai berikut :

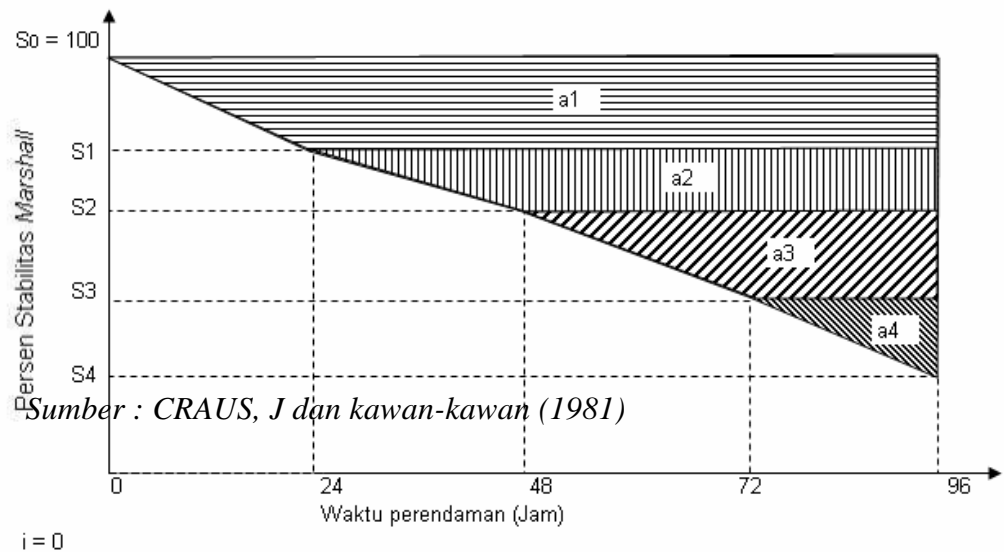
$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_1 = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})]$$

.....(2.3)

Indeks keawetan kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan satu hari. Nilai positif dari (a) menunjukkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif sebagai peningkatan kekuatan. Menurut definisinya, $a < 100$. Karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase kekuatan sisa satu hari (S_a) sebagai berikut :

$$S_a = \frac{100 - a}{100} \quad (2.4)$$

.....(2.4)



Gambar 2.3. Gambaran Skema Kurva Keawetan

2.9. Bahan Aditif Aspal

Bahan aditif aspal adalah suatu bahan yang dipakai untuk ditambahkan pada aspal. Terrel & Epps (1971), penggunaan bahan aditif aspal merupakan bagian dari klasifikasi jenis aspal modifier yang berunsur dari jenis karet, karet sintetis /buatan juga dari karet yang sudah diolah (dari ban bekas), dan juga dari bahan plastik, adapun pengujian yang pernah dilakukan adalah :

- a. Badan Litbang Dep PU (2007), melakukan pengujian dengan menggunakan bahan aditif dengan menggunakan karet alam (Lateks KKK.60) untuk meningkatkan mutu perkerasan jalan beraspal sebesar 3 % dari berat aspal minyak dengan hasil memperbaiki karakteristik aspal konvensional, meningkatkan mutu perkerasan beraspal yang ditunjukkan dengan peningkatan modulus resilien dan kecepatan deformasi, meningkatkan umur konstruksi perkerasan jalan yang ditunjukkan percepatan terjadinya retak dan alur.
- b. PT. Tunas Mekar Adiperkasa (2005) dengan produknya aspal BituPlus®. Aspal BituPlus® memakai polimer elastomerik atau dari bahan jenis karet. Pengujian dilakukan dari penelitian penggunaan aspal tersebut pada jalan yang telah dibangun. Hasil penelitian adalah dengan pemakaian aspal BituPlus® menghasilkan aspal yang memiliki titik lembek tinggi, kelenturan yang lebih baik serta penetrasi yang optimal daripada menggunakan aspal biasa serta perkerasan jalan lebih tahan terhadap *aging* akibat pengaruh sinar ultraviolet sehingga memperbaiki kinerja beton aspal.

2.10. Penelitian yang pernah dilakukan

Penelitian – penelitian ini merupakan penelitian yang mempunyai relevansi terhadap penambahan material pada aspal yang, penelitian yang pernah dilakukan antara lain :

- a. **Joko Wardoyo** (2003), meneliti pengaruh bahan tambah *gilsonite* pada *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC1) terhadap nilai propertis *Marshall* dan modulus kekakuan, yang menyatakan penambahan bahan *gilsonite* menghasilkan penurunan nilai penetrasi, peningkatan stabilitas campuran AC-WC1, dan pada temperatur 20⁰ C memenuhi batas untuk kondisi perilaku elastis.
- b. **Pustrans - Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi (2001)**, melakukan percobaan lapangan dengan memodifikasi aspal dengan bahan polimer jenis Poliolefin yang bersifat plastik dapat dihasilkan, menurunkan penetrasi dan menaikkan titik lembek sehingga kepekaan terhadap temperatur akan naik, dan menaikkan

angka stabilitas dinamis serta menurunkan angka deformasi permanen pada uji *wheel tracking*.

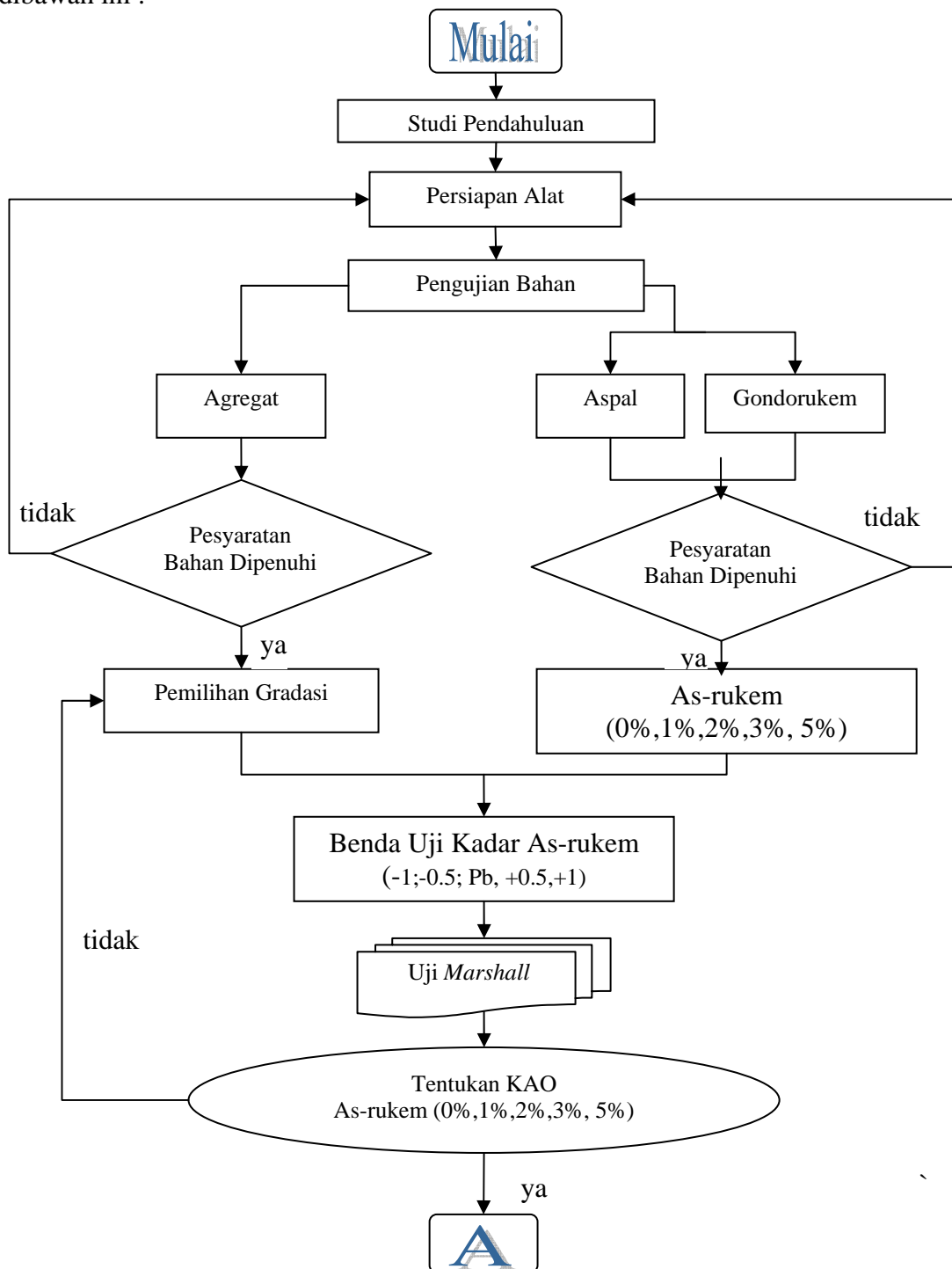
- c. **Dede Himawan & Cahyo Adi (2005)**, Pengaruh Lateks Roadcell terhadap Kinerja Lapis Aspal Beton (Laston). Penelitian ini membahas campuran Laston dengan penambahan 4% Lateks terhadap berat aspal dan 0,3% Roadcell-50 terhadap berat campuran. Lateks didapat dari penyadapan karet alam yang mengandung 30% karet kering, yang diistilahkan Kandungan Karet Kering (KKK). Sedangkan Roadcell-50 adalah bahan tambah produksi dalam negeri yang dibuat dari bubur kayu (*pulp*) dan mengandung 90% serat selalosa. Untuk tujuan perbandingan, maka pada penelitian dibuat empat jenis Laston. Campuran pertama adalah Laston dengan tanpa penambahan bahan aditif (0% Lateks dan 0% Roadcell-50). Campuran kedua adalah Laston dengan penambahan Lateks dan tanpa penambahan Roadcell (Lateks 4% dan 0% Roadcell-50), campuran ke tiga adalah Laston dengan penambahan Roadcell dan tanpa penambahan Lateks (Lateks 0% dan 0,3% Roadcell-50), dan jenis campuran ke empat adalah Laston dengan penambahan lateks dan Roadcell sekaligus (4% Lateks dan 0,3% Roadcell-50). Dalam Penelitian menunjukkan bahwa penambahan Lateks dan Roadcell ke dalam aspal mempengaruhi karakteristik fisik aspal itu sendiri. Penambahan Roadcell berpengaruh terhadap pengurangan nilai penetrasi aspal, sedangkan penambahan Lateks berpengaruh pada peningkatan penetrasi pada suhu rendah dan penurunan penetrasi pada suhu tinggi.

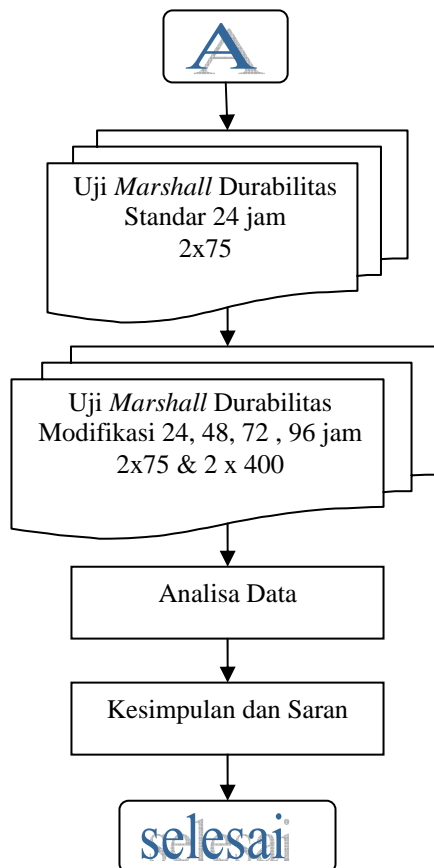
Pada kadar optimum. Laston dengan penambahan Lateks, Roadcell dan Lateks Roadcell menunjukkan adanya peningkatan angka kekuatan sisa (*retained strenght*) yang berarti meningkatnya daya tahan terhadap kerusakan akibat terendam air. Penambahan Lateks. Roadcell dan penambahan Lateks Roadcell juga mempunyai dampak terhadap peningkatan kelenturan campuran dan peningkatan daya tahan terhadap retak, hal ini ditunjukkan dengan penurunan nilai MQ.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1.7. Tahapan Penelitian

Beberapa hal yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah membuat bagan alir pelaksanaan penelitian seperti dipresentasikan seperti Gambar 3.1 dibawah ini :





Gambar 3.1. Bagan Alir Metodologi Penelitian (Lanjutan)

1.8. Uraian Tahapan Penelitian.

3.2.1. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan adalah dengan mengumpulkan referensi - referensi yang relevan yang akan digunakan sebagai dasar dalam penelitian serta menentukan lokasi bahan dan tempat pengujian

3.2.2. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan adalah penyiapan/ pengadaan bahan, peralatan dan peralatan pelengkap untuk pengujian, adapun bahan dan peralatan tersebut :

1. Bahan material yang digunakan:
 - a. Agregat kasar, berasal dari batu Kalikuto diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang).

- b. Agregat halus (pasir kali) menggunakan pasir kali asal Muntilan
 - c. Abu batu dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang).
 - d. Gondorukem kualitas WW (Water White) yang diperoleh dari Perum PT. Perhutani Semarang.
 - e. Untuk bahan aspal menggunakan aspal PERTAMINA dengan penetrasi 60/70.
2. Peralatan yang diperlukan
- a. Alat uji pemeriksaan aspal

Alat yang digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain: alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji kelarutan digunakan bahan yang serupa yaitu CCl₄.
 - b. Alat uji pemeriksaan agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), saringan standar, alat uji kepipihan, alat pengering (*oven*), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), bak perendam dan tabung *sand equivalent*.
 - c. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi:

 - o Alat tekan *Marshall* yang terdiri kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 2500 kg (5000 lb) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flowmeter*.
 - o Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 inch) dengan tinggi 7,5 cm (3 inch) untuk *Marshall* standar.
 - o Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm, berat 4,5 kg (10 lb) dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inch).
 - o Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
 - o Bak perendam yang dilengkapi pengatur suhu.

- o Alat-alat penunjang yang dibutuhkan meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaos tangan anti panas, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan tip-ex/cat minyak, untuk menandai benda uji.

3.2.3. Pengujian Bahan

Pengujian dimaksudkan untuk meneliti bahan yang akan dipakai dapat memenuhi persyaratan, pengujian bahan meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus dan agregat pengisi (bahan pengisi-*filler*).

1. Pengujian Aspal

Aspal walaupun jumlahnya kecil, namun sangat menentukan dalam menyatukan dari semua komponen campuran. Dalam penelitian digunakan aspal Pertamina Pen 60/70, adapun standar pengujiannya adalah :

1	Penetrasi; 25°C; 100gr.; 5detik; 0,1mm	SNI 06-2456-1991
2	Titik lembek; °C	SNI 06-2434-1991
3	Titik nyala; °C	SNI 06-2433-1991
4	Daktilitas; 25°C; cm	SNI 06-2432-1991
5	Berat jenis	SNI 06-2441-1991
6	Kelarutan dlm. Tricilor Etylen; %berat	SNI 06-2438-1991
7	Penurunan Berat (dg. TFOT); %berat	SNI 06-2440-1991
8	Penetrasi setelah penurunan berat; %asli	SNI 06-2456-1991
9	Daktilitas setelah penurunan berat; %asli	SNI 06-2432-1991

2. Pengujian Agregat.

a. Agregat kasar, yaitu batuan yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm) terdiri atas batu pecah atau kerikil pecah dalam penelitian menggunakan agregat kasar, berasal dari batu ex-Kalikuto diperoleh dari hasil mesin pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang)..

Standar uji untuk agregat kasar adalah :

a.	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990
b.	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990
c.	Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991
d.	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991

- | | |
|---------------------|-------------|
| e. Partikel pipih | ASTM D-4791 |
| f. Partikel Lonjong | ASTM D-4791 |

- b. Agregat halus, yaitu batuan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan saringan No. 200 (0.074 mm) terdiri dari hasil mesin pemecahan batu atau pasir alam dalam penelitian menggunakan pasir kali asal Muntilan.

Standar uji untuk agregat halus adalah :

- | | |
|----------------------|------------------|
| 1 Penyerapan air | SNI 03-1969-1990 |
| 2 Berat Jenis | SNI 03-1970-1990 |
| 3 Nilai setara pasir | AASHO T-176 |

- c. Agregat pengisi (*filler*), terdiri atas bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.(SK. SNI M-02-1994-03), dalam penelitian menggunakan *filer* abu batu hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang).

3.2.4. Pengujian Campuran Aspal

1. Mengumpulkan data hasil pengujian bahan yaitu agregat kasar, agregat halus bahan pengisi (*filler*) serta aspal
2. Menyiapkan data gradasi agregat kasar, agregat halus bahan pengisi (*filler*)
3. Rencana proporsi agregat campuran sesuai **Tabel 2.5** Gradasi Agregat Untuk Campuran Lapis Beton Aspal (AC) kolom BC, dibuat dengan **menentukan target** gradasi mendekati batas atas titik kontrol atau diatas kurva *Fuller*.
4. Perhitungan perkiraan awal kadar aspal optimum (P_b) dengan rumus sebagai berikut :

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K$$

Keterangan :

P_b : Kadar aspal optimum

CA : Agregat kasar

FA : Agregat halus
FF : *Filler*
K : konstanta (kira-kira 0,5 - 1,0)

5. Membuat perkiraan Nilai P_b sampai terdekat 0,5% pada hasil perhitungan.
6. Menyiapkan benda uji masing masing 4 buah untuk (-1;-0.5; P_b , +0.5,+1) .
7. Melakukan pengujian berat jenis maksimum (G_{mm}) pada perkiraan kadar aspal P_b sesuai dengan ASSHO T-209-1990 untuk As-rukem 0% (aspal murni),1%,2%,3% dan 5%
8. Melakukan pengujian *Marshall*, sesuai dengan SNI 06-2489-1991 untuk menentukan kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil bagi *Marshall*, VIM, VMA,VFB sesuai stabilitas sisa setelah perendaman.
9. Hitung rongga diantara VIM, VMA,VFB
10. Gambar Grafik hubungan antara Kadar Aspal dengan parameter *Marshall* meliputi kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil bagi *Marshall*, VIM, VMA,VFB
11. Menentukan kadar aspal/ As-rukem optimum (KAO) untuk setiap variasi bahan tambah.
12. Membuat campuran pada Kadar Aspal Optimum (KOA) untuk setiap variasi bahan tambah variasi Gondorukem 1%. 2%,3% dan 5% untuk pengujian durabilitas.
13. Melakukan pengujian *Marshall*, **uji durabilitas standar** sesuai dengan SNI 06-2489-1991 untuk menentukan kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil bagi *Marshall*, VIM, VMA,VFB sesuai stabilitas sisa pada lama perendaman selama 24 jam.
14. Melakukan pengujian *Marshall*, untuk mencari **uji durabilitas modifikasi** untuk menentukan kepadatan, stabilitas, kelelahan, hasil

bagi Marshall, VIM, VMA, VFB sesuai stabilitas sisa pada lama perendaman selama 48 jam, 72 jam dan 96 jam.

15. Menganalisa data dari pencatatan dan perhitungan-perhitungan dari pengujian yang telah dilakukan

16. Membuat kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

1.9. Dasar – Dasar Perhitungan

3.3.1. Berat Jenis *Bulk* dan *Apparent Total Agregat*

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/filler yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semu (*apparent gravity*). Kedua macam berat jenis dari total agregat tersebut dapat dihitung dalam persamaan berikut :

1. Berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dari total agregat

$$Gsb_{tot} \text{ agregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsb_1} + \frac{P_2}{Gsb_2} + \frac{P_3}{Gsb_3} + \dots + \frac{P_n}{Gsb_n}}$$

.....(3.1)

Keterangan:

$Gsb_{tot} \text{ agregat}$: Berat jenis kering agregat gabungan, (gr/cc)

$Gsb_1, Gsb_2, \dots, Gsb_n$: Berat jenis kering dari masing-masing agregat 1,2,3..n, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3, \dots : Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

2. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dari total agregat

$$Gsa_{tot} \text{ agregat} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsa_1} + \frac{P_2}{Gsa_2} + \frac{P_3}{Gsa_3} + \dots + \frac{P_n}{Gsa_n}}$$

.....(3.2.)

Keterangan:

$Gsa_{tot} \text{ agregat}$: Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

$Gsa_1, Gsa_2, \dots, Gsa_n$: Berat jenis semu dari masing-masing agregat 1,2,3..n, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3, \dots : Prosentase berat dari masing-masing agregat, (%)

3.3.2. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) diukur dengan AASHTO T.209-90, maka berat jenis efektif campuran (G_{se}), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis sebagai berikut :

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad \text{.....(3.3)}$$

Keterangan:

- G_{se} : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)
- G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)
- P_{mm} : Persen berat total campuran (=100)
- P_b : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)
- P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)
- G_b : Berat jenis aspal

Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan juga dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad \text{.....(3.4)}$$

Keterangan:

- G_{se} : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)
- G_{sb} : Berat jenis kering agregat / *bulk spesific gravity*, (gr/cc)
- G_{sa} : Berat jenis semu agregat / *apparent spesific gravity*, (gr/cc)

3.3.3. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, G_{mm} pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T.209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat).

Selanjutnya Berat Jenis Maksimum (G_{mm}) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) rata-rata sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan:

- G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran, (gr/cc)
- P_{mm} : Persen berat total campuran (=100)
- P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)
- P_b : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)
- G_{se} : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)
- G_b : Berat jenis aspal, (gr/cc)

3.3.4. Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Perhitungan berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (G_{mb}) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut :

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}} \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan:

- G_{mb} : Berat jenis campuran setelah pemadatan, (gr/cc)
- V_{bulk} : Volume campuran setelah pemadatan, (cc)
- W_a : Berat di udara, (gr)

3.3.5. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (P_{ba}) adalah sebagai berikut:

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} G_b \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan:

- P_{ba} : Penyerapan aspal, persen total agregat (%)
- G_{sb} : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)
- G_{se} : Berat jenis efektif agregat, (gr/cc)
- G_b : Berat jenis aspal, (gr/cc)

3.3.6. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (P_{be}) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus Kadar aspal efektif adalah :

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan:

- P_{be} : Kadar aspal efektif, persen total campuran, (%)
- P_b : Kadar aspal, persen total campuran, (%)
- P_{ba} : Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)
- P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

3.3.7. Rongga di antara mineral agregat (*Void in the Mineral Agregat/ VMA*)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total (persamaan 3.9) atau terhadap berat agregat total (persamaan 3.10). Perhitungan VMA terhadap campuran adalah dengan rumus berikut :

1. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 - \left[\frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right] \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan:

- VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)
- G_{mb} : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
- G_{sb} : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)
- P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

2. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \left[\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \times 100 \right] \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan:

- VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)
- G_{mb} : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

- Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)
- Pb : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

3.3.8. Rongga di dalam campuran (Void In The Compacted Mixture/ VIM)

Rongga udara dalam campuran (Va) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 - \left[\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right] \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan:

- VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)
- Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
- Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

3.3.9. Rongga udara yang terisi aspal (Voids Filled with Bitumen/ VFB)

Rongga terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus adalah sebagai berikut:

$$VFB = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan:

- VFB : Rongga udara yang terisi aspal, prosentase dari VMA, (%)
- VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)
- VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)

3.3.10. Stabilitas

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat *Marshall*. Pada umumnya alat *Marshall* yang digunakan bersatuan Lbf (pound force), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi akibat ketebalan benda uji.

3.3.11. Flow

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti di atas Nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial.

Hanya saja untuk alat uji jarum dial *flow* biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter), sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

3.3.12. Marshall Quotient

Marshall *Quotient* (*MQ*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(3.13)$$

keterangan:

- MQ : *Marshall Quotient*, (kg/mm)
- MS : *Marshall Stabilit,y* (kg)
- MF : *Flow Marshall*, (mm)

3.3.13. Durabilitas

Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-1990. Uji perendaman dilakukan pada temperatur $60 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 24 jam.. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (IRS), dan dihitung sebagai berikut :

$$IRS = \left[\frac{MSi}{MSs} \right] \times 100 \% \dots\dots\dots(3.14)$$

keterangan:

- IRS : Indeks Kekuatan Sisa (*Index Retained Strength*) (%)
- MSi : Stabilitas *Marshall* setelah perendaman 24 jam suhu ruang $\pm 60^\circ\text{C}$, (kg)
- MSs : Stabilitas *Marshall* standar pada perendaman selama 30-40 menit pada suhu 60°C , (kg)

3.3.14. Durabilitas Modifikasi

Parameter ini dinamakan Indeks Keawetan yang terdiri dari dua jenis, yaitu indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua. Dalam metode ini dilakukan lama perendaman yaitu , 24, 48, 72 dan 96 jam.

1. Indeks Durabilitas Pertama

Indeks pertama didefinisikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan. Berdasarkan gambar 2.3. indeks (r) dinyatakan sebagai berikut:

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots(3.15)$$

Keterangan:

- r : Nilai Penurunan stabilitas (%)
- S₀ : nilai absolut dari kekuatan awal
- S_i : Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_i
- S_{i+1} : Persen kekuatan yang tersisa pada waktu t_{i+1}
- t_i, t_{i+1} : waktu perendaman (mulai dari awal pengujian)

Sebagai contoh, kalau pengukuran diambil setelah 24, 48, 72 dan 96 jam perendaman maka nilai penurunan stabilitas (r) :

$$r = \frac{S_{24} - S_{48}}{48 - 24} + \frac{S_{48} - S_{72}}{72 - 48} + \frac{S_{72} - S_{96}}{96 - 72}$$

2. Indeks Durabilitas Kedua

Indeks kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis S₀ = 100 persen. Berdasarkan gambar 2.3. indeks (a) ini dinyatakan sebagai berikut :

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \dots\dots\dots(3.16)$$

Indeks keawetan kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan satu hari. Nilai positif dari (a) menunjukkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif sebagai peningkatan kekuatan. Menurut definisinya, a < 100. Karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase kekuatan sisa satu hari (S_a) sebagai berikut :

$$S_a = \frac{100 - a}{100} \dots\dots\dots(3.17)$$

1.10. Perencanaan Jumlah Benda Uji.

Dalam Penelitian ini sampel/ benda uji yang direncanakan sejumlah seperti yang termuat dalam Tabel 3.1a , 3.1b, 3.1c untuk pengujian tahap I, II dan II .

Tabel 3.1a. Jumlah Sampel Yang Direncanakan Tahap I
Uji Marshall untuk mencari Kadar Aspal Optimum

Jenis sampel	Kadar aspal (%)					Jumlah
	-1	-0,5	Pb	0,5	1	
Benda Aspal Murni + 0% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	2D	10
Benda Aspal Murni + 1% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	2D	10
Benda Aspal Murni +2% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	2D	10
Benda Aspal Murni + 3% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	2D	10
Benda Aspal Murni + 5% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	2D	10
JUMLAH						50

Tabel 3.1b. Jumlah Sampel Yang Direncanakan Tahap II
Uji Durabilitas pada Kadar Aspal Optimum (2 x 75)

Jenis sampel	Lama Perendaman (jam)				Jumlah
	24	48	72	96	
Benda Aspal Murni +0% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
Benda Aspal Murni + 1% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	8
Benda Aspal Murni +2% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	8
Benda Aspal Murni + 3% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	8
Benda Aspal Murni + 5% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	8
JUMLAH					48

Tabel 3.1c. Jumlah Sampel Yang Direncanakan Tahap III Uji Durabilitas pada Kadar Aspal Optimum (2 x 400)

Jenis sampel	Lama Perendaman (jam)				Jumlah
	24	48	72	96	
Benda Aspal Murni +0% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	8
	2S	2S	2S	2S	8
Benda Aspal Murni + 1% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	8
Benda Aspal Murni +2% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	8
Benda Aspal Murni + 3% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	8
Benda Aspal Murni + 5% Gondorukem	2D	2D	2D	2D	8
JUMLAH					48

Jadi jumlah seluruh sampel uji untu tahap I, II dan III = 50 + 48 + 48
= **146 benda uji**

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian-pengujian yang sesuai dengan pedoman - pedoman pengujian yang ada dan juga didukung dengan peralatan yang sudah dikalibrasi dengan hasil penelitian meliputi : penelitian sifat fisik agregat, penelitian sifat fisik aspal, penelitian sifat aspal Gondorukem (As-rukem) dan penelitian campuran Laston Lapis Pengikat /*Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC) dengan melakukan uji *Marshall* juga stabilitas sisa setelah dilakukan perendaman di dalam air.

4.1. Hasil Penelitian Sifat Fisik Agregat.

Hasil penelitian sifat fisik agregat meliputi agregat kasar dan agregat halus dapat dipresentasikan pada Tabel. 4.1. dan secara lengkap hasil penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1.1 sampai dengan Lampiran 2.3.

Tabel 4.1. Hasil Penelitian Sifat Fisik Agregat

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A. Agregat Kasar					
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	maks. 3%	2,1%	Memenuhi
2	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990	min. 2.5 gr/cc	2.76 gr/cc	Memenuhi
3	Abrasi dgn mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	maks. 40%	23,73%	Memenuhi
4	Kelekatan agregat thdp aspal	SNI 03-2439-1991	min. 95%	98%	Memenuhi
5	Partikel pipih	ASTM D-4791	maks. 25%	16,93%	Memenuhi
B. Agregat Halus					
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	maks. 3%	1,07%	Memenuhi
2	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990	min. 2.5 gr/cc	2.79 gr/cc	Memenuhi
3	Nilai setara pasir	AASHO T-176	min. 50%	74,5 %	Memenuhi

Sesuai dengan hasil dari pengujian yang dilakukan maka material yang berasal dari batu ex-Kalikuto diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang) **dapat digunakan sebagai** bahan campuran agregat pada AC-BC. sedangkan *filler* yang digunakan adalah hasil dari penyaringan abu batu dari (*stone crusher*)

dari AMP PT. Adhi Karya Divisi Konstruksi Wilayah III Semarang (Mangkang) yang lolos saringan No. 200 (ASTM) / 0,075 mm.

4.2. Hasil Penelitian Sifat Fisik Aspal

Hasil penelitian sifat fisik Aspal dilakukan dengan material aspal Pertamina Pen 60/70 yang tersedia di laboratorium ATS Semarang dipresentasikan pada Tabel. 4.2. dan secara lengkap hasil penelitian dapat dilihat pada Lampiran 3.1 sampai dengan Lampiran 3.9

Tabel 4.2. Hasil Penelitian Sifat Fisik Aspal

No	Karakteristik	Standar Pengujian	Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi; 25°C; 100gr.; 5detik; 0,1mm	SNI 06-2456-1991	60 – 79	68,4	Memenuhi
2	Titik lembek; °C	SNI 06-2434-1991	48 – 58 °C	48 °C	Memenuhi
3	Titik nyala; °C	SNI 06-2433-1991	min. 200 °C	239 °C	Memenuhi
4	Daktilitas; 25°C; cm	SNI 06-2432-1991	min. 100 cm	>110 cm	Memenuhi
5	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	min. 1,0 gr/cc	1,063 gr/cc	Memenuhi
6	Kelarutan CCL4	SNI 06-2438-1991	min. 99 %	99,1667 %	Memenuhi
7	Penurunan/ kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	maks. 0,8 %	0.16%	Memenuhi
8	Penetrasi setelah penurunan berat; % asli	SNI 06-2456-1991	min. 54%	91,667 %	Memenuhi
9	Daktilitas setelah penurunan berat; % asli	SNI 06-2432-1991	min. 50%	62,7%	Memenuhi

Sesuai dengan hasil dari pengujian yang dilakukan untuk bahan aspal sudah memenuhi persyaratan dan **dapat digunakan sebagai** bahan campuran aspal pada AC-BC

4.3. Hasil Penelitian Sifat Fisik Gondorukem

Hasil penelitian sifat-sifat fisik Gondorukem dari PT. Perhutani Unit Semarang dengan kualitas *Water White* (WW) dipresentasikan pada Tabel. 4.3. Hasil penelitian sifat fisik secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.1.

Sesuai dengan hasil dari pengujian yang dilakukan maka didapatkan Gondorukem kualitas WW (*Water White*).

Diluar penelitian yang diatas, juga dilakukan uji tambahan untuk mengetahui sifat fisik lain yaitu Berat Jenis (BJ) sebesar 1.1428 gr/cc dalam kondisi suhu dibawah 100°C akan seimbang dan berbentuk padat dan keras seperti kaca.

Tabel 4.3. Hasil Penelitian Sifat Fisik Gondorukem

Spesifikasi	Standard				Hasil	Keterangan Memenuhi kualitas WW
Spesifikasi	Standar				Hasil	
	X	WW	WG	N		
9. Titik lunak metode ring & ball	$\geq 78^0$ C	$\geq 78^0$ C	$\geq 76^0$ C	$\geq 74^0$ C	80 ⁰ C	Memenuhi
10. Uji Warna dengan Lovibond	sesuai contoh	sesuai contoh	sesuai contoh	sesuai contoh	WW	Memenuhi
11. Kadar Kotoran	$\leq 0.02\%$	$\leq 0.05\%$	$\leq 0.07\%$	$\leq 0.10\%$	0,0211%	Memenuhi
12. Bilangan Asam (Acid Value)	160 - 190				185,48	Memenuhi
13. Bilangan Penyambunan (Saponification Value)	170 – 220				197,35	Memenuhi
14. Bilangan Iod (Iodine Value)	5 - 25				10,29	Memenuhi
15. Kadar Abu (Ash Content)	$\leq 0.01\%$	$\leq 0.04\%$	$\leq 0.05\%$	$\leq 0.08\%$	0,0255%	Memenuhi
16. Kadar Terpenting Tersisa (Volatile Oil Content)	$\leq 2\%$	$\leq 2\%$	$\leq 2.5\%$	$\leq 3\%$	1,69%	Memenuhi

Keterangan :

X (*Rex*) = Warna yang paling jernih

WW (*Water White*) = Warna yang beningnya seperti air

WG (*Window Glass*) = Warna bening seperti kaca jendela

N (*Nancy*) = Warna kuning- kecoklat coklatan

Sumber : SNI 01-5009.12.2001

4.4. Hasil Penelitian Aspal - Gondorukem (As-rukem)

Hasil pemeriksan sifat fisik aspal dicampur dengan Gondorukem atau Aspal Gondorukem (As-rukem) dilakukan dengan menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 yang tersedia di laboratorium ATS Semarang dan Gondorukem dari PT.

Perhutani Unit I Jawa Tengah dengan kualitas *Water White* (WW) yang dipresentasikan pada Tabel. 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Penelitian Sifat Fisik Aspal dengan bahan tambah Gondorukem kualitas *Water White* (WW).

No	Karakteristik	Persyaratan	Hasil				
			Aspal + 0% Gondorukem	Aspal + 1% Gondorukem	Aspal + 2% Gondorukem	Aspal + 3% Gondorukem	Aspal + 5% Gondorukem
1	Penetrasi; 25°C; 100gr.; 5detik; 0,1mm	60 – 79	68,4	70	64,5	60,4	48,5
2	Titik lembek; °C	48 – 58 °C	48	48	49	52	58,5
3	Titik nyala; °C	min. 200 °C	239	215	206	190	155
4	Daktalitas; 25°C; cm	min. 100 cm	>110	>110	>110	>110	>110
5	Berat jenis;	min. 1,0 gr/cc	1,063	1,023	1,045	1,038	1,037
6	Kelarutan CCL4; %	min. 99 %	99,1667	99,596	99,5456	99,4737	99,4318

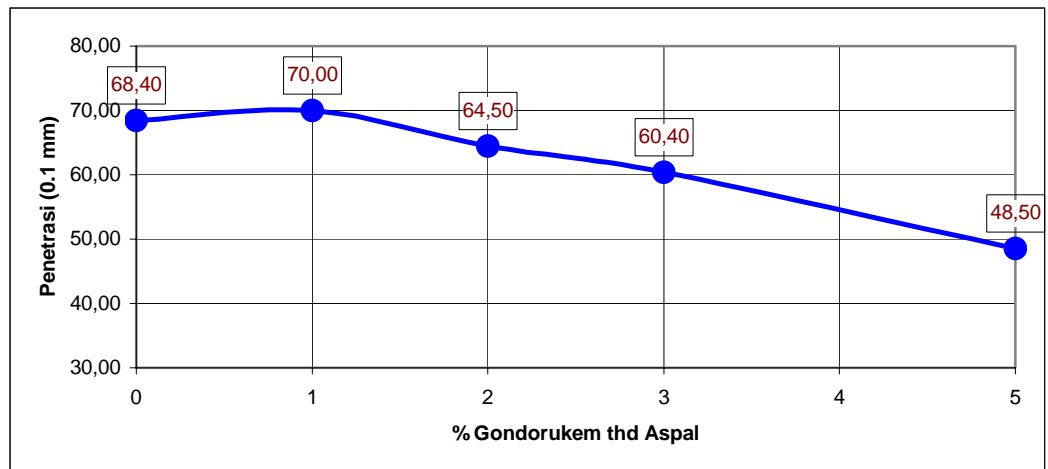
Terdapat 6 (enam) macam pengujian fisik aspal. Secara lengkap hasil penelitian dapat dilihat pada Lampiran 5.1.1. sampai dengan Lampiran 5.6.4.

Sesuai dengan hasil dari pengujian yang dilakukan antara Aspal Pertamina Pen 60/70 dengan bahan tambah Gondorukem (As-rukem) dengan komposisi bahan tambah 1%, 2%, 3% dan 5 % pengaruh yang terjadi antara lain :

4.4.1. Pengujian Penetrasi dan titik lembek

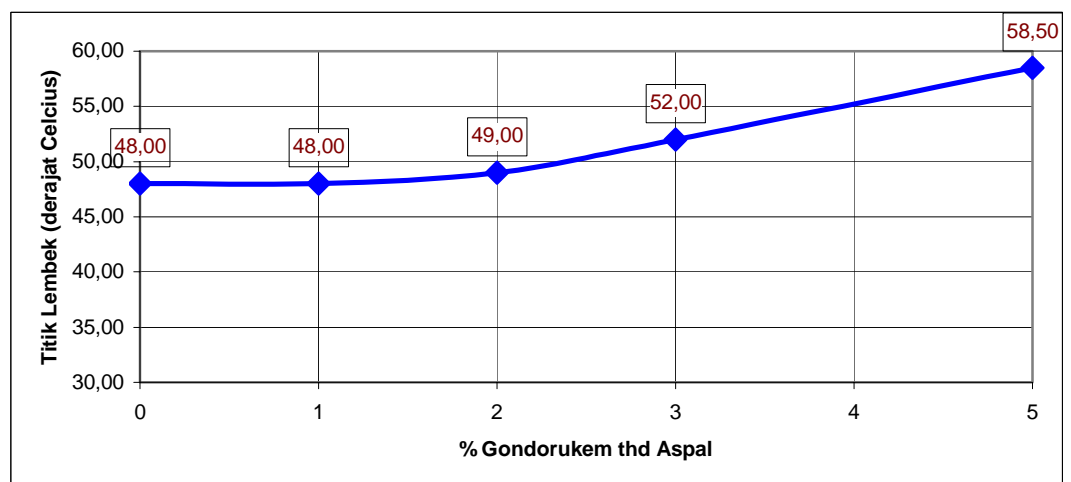
Pengujian kekerasan aspal dilakukan dengan pengujian penetrasi. Nilai penetrasi didapat dari uji penetrasi dari alat penetrometer pada suhu 25°C selama 5 detik, dimana nilai penetrasi ini dilakukan dengan variasi persentase Gondorukem terhadap aspal. Dari hasil yang dipresentasikan Grafik 4.1, menunjukkan bahwa pada variasi 1 % Gondorukem terhadap aspal didapatkan nilai tertinggi yaitu sebesar 7,0 mm tetapi dengan bertambahnya persentase Gondorukem terhadap aspal nilai penetrasi yang

dihasilkan mengalami penurunan atau tambah keras.



Grafik 4.1 Pengaruh Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap Nilai Penetrasi Aspal

Penurunan penetrasi ini disebabkan karena terjadi penggabungan sifat fisik kekerasan dari keduanya. Didalam kondisi suhu ruang Gondorukem lebih keras (berbentuk seperti kaca) dibanding dengan aspal.



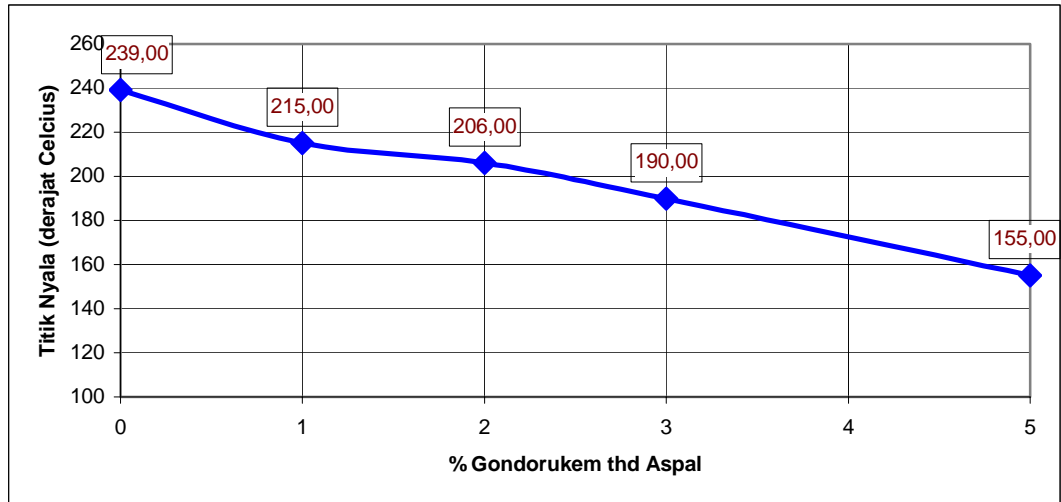
Grafik 4.2 Pengaruh Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap Nilai Titik Lembek Aspal

Tujuan dari pemeriksaan titik lembek adalah mengukur nilai temperatur dimana bola-bola baja mendesak turun lapisan aspal yang ada pada cincin, hingga menyentuh dasar pelat yang terletak dibawah cincin pada jarak 1 inci, sebagai akibat dari percepatan pemanasan tertentu. Pemeriksaan ini diperlukan untuk mengetahui batas kekerasan aspal setelah dilakukan penambahan variasi persentase Gondorukem terhadap aspal. Pengamatan titik lembek dimulai dari suhu 48°C – 58,5°C, dari pengujian yang dipresentasikan Grafik 4.2 diperoleh nilai untuk variasi persentase Gondorukem terhadap aspal menghasilkan nilai titik lembek tidak mengalami perubahan pada 0 % menuju 1 % Gondorukem terhadap aspal didapatkan nilai titik lembek 48°C, tetapi saat variasi 1% - 5% Gondorukem terhadap aspal menghasilkan nilai titik lembek yang meningkat yaitu dari 48°C - 58,50 °C. Peningkatan nilai ini disebabkan karena bergabungnya nilai titik lembek masing – masing material. Nilai titik lembek Gondorukem sebesar 80°C, dan titik lembek aspal sebesar 48°C.

Dari membaca pengaruh kedua parameter tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa pengaruh nilai penetrasi berbanding terbalik dengan nilai titik lembek, saat kenaikan nilai salah satu parameternya akan berakibat penurunan pada parameter yang lain.

4.4.2. Pengujian Titik Nyala

Pemeriksaan ini untuk menentukan suhu dimana diperoleh nyala pertama diatas permukaan aspal setelah penambahan variasi persentase Gondorukem terhadap aspal. Dengan mengetahui nilai titik nyala, maka dapat diketahui suhu maksimum.

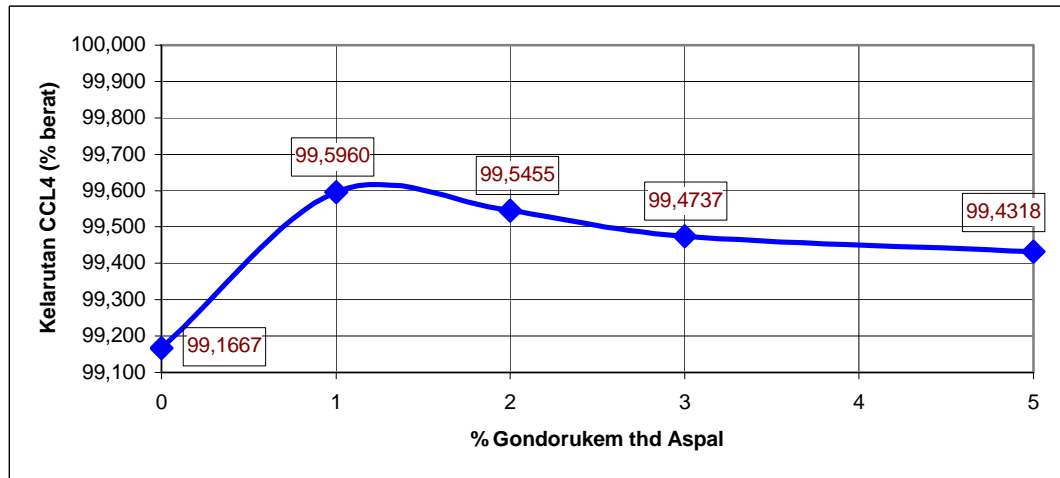


Grafik 4.3 Pengaruh Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap Nilai Titik Nyala Aspal

Dari hasil titik nyala dipresentasikan Grafik 4.3, menunjukkan nilai titik nyala dengan suhu maksimum yang diperoleh 239°C pada variasi 0 % Gondorukem terhadap aspal/ aspal murni, sedangkan saat variasi 1 % - 5 % Gondorukem terhadap aspal diperoleh nilai titik nyala yang menurun yaitu dari 215°C menjadi 155°C. Penurunan nilai titik nyala ini dipengaruhi karena sifat fisik dari Gondorukem yang mudah menyerap panas.

4.4.3. Pengujian Kelarutan CCL₄.

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan jumlah unsur aspal dalam CCL₄, dengan adanya bahan-bahan tidak terlarut dalam CCL₄ menunjukkan adanya bahan lain yang terlarut dalam residu aspal. Dari hasil pengujian kelarutan CCL₄ yang dipresentasikan Grafik 4.4. Nilai persentase kelarutan CCL₄ dengan penambahan variasi persentase Gondorukem terhadap aspal diperoleh hasil dengan nilai tertinggi 99.5960 % saat variasi 1 % Gondorukem terhadap aspal dan nilai terendah 99.4318 % saat variasi 5 % Gondorukem terhadap aspal. Nilai kelarutan ini diperoleh karena sifat fisik Gondorukem yang mudah larut dalam CCL₄.

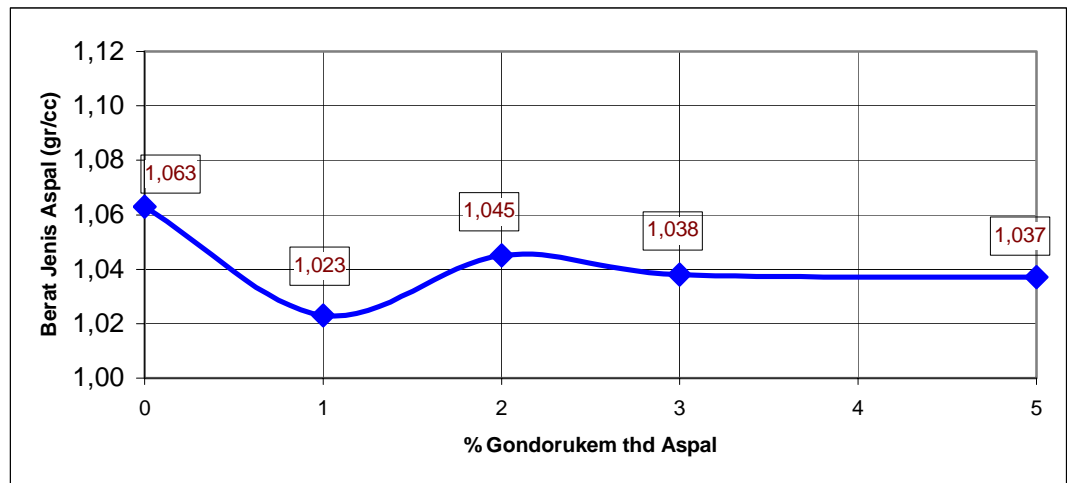


Grafik 4.4 Pengaruh Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap Nilai Kelarutan CCL4

4.4.4. Pengujian Daktilitas dan Berat Jenis Aspal

Pengujian daktilitas dibutuhkan untuk mengetahui sifat kohesi dan plastisitas aspal. Pemeriksaan dengan mencetak aspal dalam cetakan dan meletakan ke dalam tempat pengujian. Tempat pengujian berisikan cairan dengan berat jenis yang mendekati berat jenis aspal (dalam pengujian dengan menambahkan glycerin). Nilai daktilitas aspal adalah panjang contoh aspal ketika putus pada saat penarikan dengan kecepatan 5 cm/menit.

Didalam pengujian tidak ada aspal maupun As-rukem yang mengalami putus pada saat penarikan hingga panjang maksimal (110 cm), tetapi didalam pengamatan saat penarikan terjadi fenomena yang berbeda aspal murni dan As-rukem 1% - 5%. Pada variasi As-rukem terdapat beberapa bagian didalam tarikan aspalnya muncul semacam *pringkila* – *pringkila* yang disebabkan karena kadar kotoran dan kadar abu yang terkandung dalam Gondorukem, dan pada bagian – bagian tersebut lebih mengambang, semakin besar kadar Gondorukem maka bagian yang mengambang semakin banyak.



Grafik 4.5 Pengaruh Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap Nilai Berat Jenis Aspal

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat jenis aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama. Dari hasil yang dipresentasikan Grafik 4.5, menunjukkan hasil dengan nilai tertinggi 1.063 gr/cc pada variasi 0 % Gondorukem terhadap aspal, dan nilai terendah 1.023 gr/cc pada variasi 1 % Gondorukem terhadap aspal, sedangkan pada variasi 2% nilai meningkat menjadi 1,045 gr/cc dan variasi 3% - 5% sedikit bergerak turun dan hampir rata, dari grafik terlihat membentuk gelombang cenderung mengecil dengan penambahan variasi Gondorukem.

Pengaruh Gondorukem sebagai bahan tambah akan mengalami keseimbangan komposisi keduanya pada variasi 2%, tetapi pada penambahan Gondorukem selanjutnya terdapat Gondorukem tidak dapat menyatu dengan aspal, campuran bertambah ringan yang disebabkan karena kadar kotoran dan kadar abu yang terkandung dalam Gondorukem.

4.4.5. Hasil pembahasan dari Pengujian Fisik Aspal Murni dan Aspal – Gondorukem (As-rukem)

Dari hasil pengujian pengaruh yang terjadi akibat penambahan Gondorukem pada Aspal Pen 60/70 untuk variasi bahan tambah sebesar 1%, 2%, 3% dan 5% adalah :

- Mempengaruhi titik lembek dan nilai penetrasi dengan pola hampir linier berbanding terbalik. Makin besar bahan tambah Gondorukem akan meningkatkan titik lembek dan penurunan nilai penetrasi (tambah keras). Hal ini dikarenakan adanya perpaduan kekerasan fisik material keduanya, aspal mempunyai viskositas sedangkan Gondorukem tidak memiliki (keras seperti kaca) pada kondisi suhu ruang. Sedangkan perpaduan nilai titik lembek keduanya, aspal mempunyai titik leleh 48°C sedangkan Gondorukem mempunyai titik leleh 80°C.
- Pengaruh Gondorukem sebagai bahan tambah pada uji berat jenis adalah bahan tambah akan mengalami keseimbangan pada variasi 2%, tetapi pada penambahan variasi Gondorukem selanjutnya mengalami penurunan yang diakibatkan karena kadar kotoran dan kadar abu yang terkandung dalam Gondorukem yang sangat mempengaruhi dari berat jenis tersebut.

4.5. Hasil Penelitian Variasi Bahan Tambah Dalam Menentukan Kadar Aspal/ As-rukem Optimum (KAO).

Pengaruh Gondorukem sebagai bahan tambah aspal pertama terlihat pada campuran AC-BC adalah dari bau benda uji terdapat bau khas dari Gondorukem, selain itu juga terlihat berupa filem pada beberapa tempat dipermukaan benda uji yang berupa lapisan mengkilat tipis.

Dari hasil uji *Marshall* dengan penggunaan aspal murni maupun dengan variasi bahan tambah Gondorukem dipresentasikan pada Tabel 4.5 sampai dengan Tabel 4.9.

Tabel 4.5 Hasil Penelitian Pengujian *Marshall* 2 X 75
Aspal Murni / As-rukem 0%

Jenis Pengujian	Satuan	% Kadar Aspal Terhadap Berat Campuran					Spesifikasi
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	
Berat isi	gr/cc	2,387	2,375	2,372	2,372	2,365	-
VMA	%	13,55	14,44	15,00	15,45	16,14	min 14%
VIM	%	5,51	5,31	4,75	4,08	3,67	Min 3,5% Maks 5,5%
VFB	%	60,0	63,4	68,3	73,7	77,3	min 68%
Stabilitas	kg	1745	1745	1713	1659	1650	Min 800 Kg
Flow	mm	4,18	3,63	3,20	3,13	3,05	Min 3 mm
Marshall Quotient	Kg/mm	429,04	497,82	548,65	528,83	598,49	Min 250 Kg/mm

Tabel 4.6 Hasil Penelitian Pengujian *Marshall* 2 X 75
Aspal + 1% Gondorukem / As-rukem 1%

Jenis Pengujian	Satuan	% Kadar Aspal Terhadap Berat Campuran					Spesifikasi
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	
Berat isi	gr/cc	2,357	2,329	2,334	2,328	2,388	-
VMA	%	14,64	16,08	16,36	17,01	15,33	min 14%
VIM	%	6,30	6,70	5,80	5,33	2,17	Min 3,5% Maks 5,5%
VFB	%	57,0	58,4	64,5	68,7	86,8	min 68%
Stabilitas	kg	1596	1678	1700	1714	1590	Min 800 Kg
Flow	mm	4,60	3,79	3,69	3,44	3,35	Min 3 mm
Marshall Quotient	Kg/mm	352,33	451,72	460,43	500,29	477,13	Min 250 Kg/mm

Tabel 4.7 Hasil Penelitian Pengujian *Marshall* 2 X 75
Aspal + 2% Gondorukem / As-rukem 2%

Jenis Pengujian	Satuan	% Kadar Aspal Terhadap Berat Campuran					Spesifikasi
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	
Berat isi	gr/cc	2,341	2,321	2,331	2,366	2,383	-
VMA	%	15,20	16,39	16,45	15,65	15,52	min 14%
VIM	%	7,08	7,21	6,10	4,00	2,62	Min 3,5% Maks 5,5%
VFB	%	53,5	56,3	63,4	74,8	83,1	min 68%
Stabilitas	kg	1586	1645	1786	1878	1799	Min 800 Kg
Flow	mm	4,12	4,15	5,20	5,31	5,53	Min 3 mm
Marshall Quotient	Kg/mm	385,77	396,86	352,22	354,06	325,58	Min 250 Kg/mm

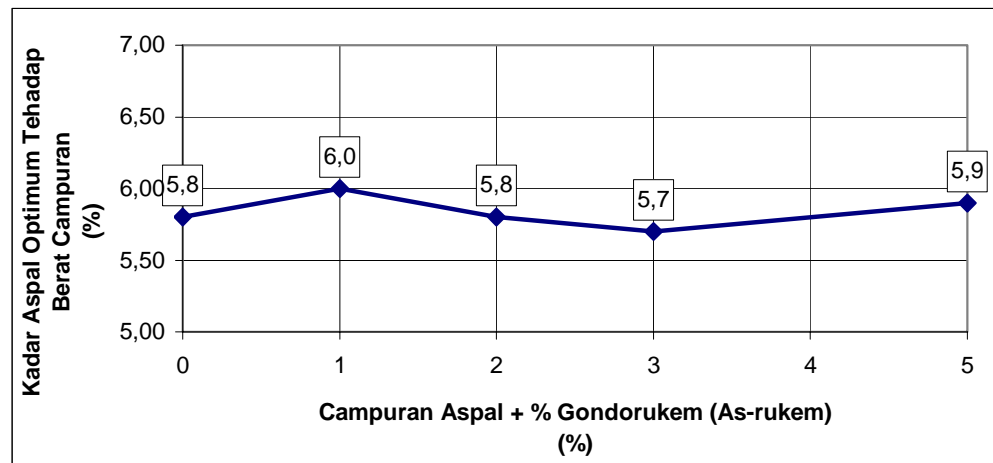
Tabel 4.8 Hasil Penelitian Pengujian *Marshall* 2 X 75
Aspal + 3% Gondorukem / As-rukem 3%

Jenis Pengujian	Satuan	% Kadar Aspal Terhadap Berat Campuran					Spesifikasi
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	
Berat isi	gr/cc	2,335	2,352	2,357	2,372	2,378	-
VMA	%	15,41	15,28	15,52	15,45	15,68	min 14%
VIM	%	7,30	5,97	5,05	3,75	2,79	Min 3,5% Maks 5,5%
VFB	%	52,6	60,9	67,5	75,9	82,2	min 68%
Stabilitas	kg	0	0	0	0	0	Min 800 Kg
Flow	mm	3,90	4,17	4,23	4,31	4,57	Min 3 mm
Marshall Quotient	Kg/mm	488,13	478,70	523,37	478,08	396,83	Min 250 Kg/mm

Tabel 4.9 Hasil Penelitian Pengujian *Marshall* 2 X 75
Aspal + 5% Gondorukem / As-rukem 5%

Jenis Pengujian	Satuan	% Kadar Aspal Terhadap Berat Campuran					Spesifikasi
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	
Berat isi	gr/cc	2,337	2,343	2,356	2,359	2,349	-
VMA	%	15,34	15,57	15,55	15,91	16,72	min 14%
VIM	%	7,21	6,28	5,06	4,26	3,98	Min 3,5% Maks 5,5%
VFB	%	53,0	59,7	67,5	73,2	76,7	min 68%
Stabilitas	kg	1.608	1.700	1.721	1.671	1.637	Min 800 Kg
Flow	mm	3,76	4,01	3,68	4,07	4,79	Min 3 mm
Marshall Quotient	Kg/mm	431,70	440,52	474,79	412,05	366,69	Min 250 Kg/mm

Cara menentukan Kadar Aspal/As-rukem Optimum adalah dengan cara menempatkan batas batas spesifikasi campuran pada grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai sifat campuran seperti berat jenis, VMA, VIM, VFB, stabilitas dan Marshall Quotient (MQ). Kadar Aspal/As-rukem Optimum diambil nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua sifat campuran dalam rentang kadar aspal optimum $\pm 0,5$ %, hal ini dibutuhkan untuk memberikan toleransi terhadap fluktuasi yang mungkin terjadi selama produksi campuran. Untuk mendapatkan kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.5. Dengan hasil seperti dalam Grafik 4.6 dibawah ini.



Grafik 4.6 Pengaruh Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap Nilai kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal Optimum untuk campuran AC-BC dengan bahan pengikat aspal murni (As-rukem 0%) sebesar 5,8%, As-rukem 1% sebesar 6,0%, As-rukem 2% sebesar 5,8%, As-rukem 3% sebesar 5,7% dan As-rukem 5 % sebesar 5,9 %. Dari hasil penentuan KAO terjadi peningkatan kadar aspal pada variasi 1% kemudian menurun sampai dengan variasi Gondorukem 3% pada variasi ini terjadi akibat keseimbangan pengaruh kedua bahan tersebut, sedangkan pada variasi 5% Kadar Aspal Optimum kembali mengalami kenaikan hal ini karena peningkatan nilai VIM yang dipengaruhi oleh percepatan pengerasan As-rukem terhadap kemampuan penyelimutan pada agregatnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah disampaikan dimuka dapat diambil suatu kesimpulan dari penelitian – penelitian yang telah dilakukan yaitu dengan meneliti pengaruh bahan tambah Gondorukem di dalam perubahan atas sifat fisik aspal dan pengaruhnya terhadap Kadar Aspal Optimum serta perubahan yang terjadi setelah dilakukan uji durabilitas baik untuk tumbukan standar 2 x 75 maupun *refusal* 2 x 400 tumbukan melalui uji sifat - sifat *Marshall* jika dibandingkan dengan menggunakan aspal murni. Adapun kesimpulan dan saran dari penelitian ini sebagai berikut adalah :

5.1 Kesimpulan

1) Pengujian Fisik Aspal dan As-rukem

Dari hasil pengujian pengaruh yang terjadi akibat penambahan Gondorukem pada Aspal Pen 60/70 untuk variasi bahan tambah 1%, 2%, 3% dan 5% terhadap sifat – sifat fisik aspal disimpulkan sebagai berikut :

- a. Mempengaruhi titik lembek dan nilai penetrasi dengan pola hampir linier berbanding terbalik. Semakin besar bahan tambah Gondorukem akan meningkatkan titik lembek dan penurunan nilai penetrasi.
- b. Penambahan Gondorukem pada aspal berpengaruh terhadap daya tahan terdapat berubahan suhu dilihat dari peningkatan titik lembek dan tambah keras dilihat dari penurunan nilai penetrasinya seiring dengan penambahan kadar Gondorukem.
- c. Dari uji titik nyala diperoleh 239°C pada variasi 0 % Gondorukem terhadap aspal/ aspal murni, sedangkan saat variasi 1 % - 5 % Gondorukem terhadap aspal diperoleh nilai titik nyala yang menurun yaitu dari 215°C menjadi 155°C.

Penurunan nilai titik nyala ini dipengaruhi oleh besarnya persentase bahan Gondorukem karena sifat fisik dari Gondorukem yang mudah menyerap panas.

Dari penurunan suhu yang terjadi akibat penambahan bahan tambah Gondorukem perlu diperhatikan pada saat pencampuran dan penghamparan khususnya pada variasi bahan tambah yang lebih banyak.

- d. Pada uji kelarutan dalam CCL₄ merupakan uji komposisi aspal semen, untuk variasi kadar Gondorukem 1% merupakan komposisi terimbang dengan nilai kelarutan yang paling tinggi.

2) **Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal terhadap Sifat – Sifat *Marshall***

Pengaruh penambahan Gondorukem pada aspal terhadap nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), yaitu untuk Aspal murni (As-rukem 0%), As-rukem 1%, 2%, 3% dan 5% berturut turut sebesar 5,8%, 6,0%, 5,8%, 5,7% dan 5,9% dari berat total campuran

Dari sifat *Marshall* yang meliputi *Berat Isi*, *VMA*, *VFB*, *VIM*, *Stabilitas*, *Flow* dan *Marshall Quotient* pada pengujian aspal ditambah Gondorukem (As-rukem) 1% - 5% berakibat kepadatannya (*Berat Isi*) berkurang, rongga diantara butiran agregat (*VMA*) membesar, rongga yang terisi aspal (*FVB*) juga membesar dan rongga dalam campuran (*VIM*) mengecil pada saat kadar aspal 6.5% walaupun pada saat kadar aspal 4,5% dalam kondisi sebaliknya, kecuali campuran As-rukem 5%. Pada stabilitas campuran kekuatannya melemah (*stabilitas turun*) kecuali campuran As-rukem 2%, nilai *flow* yang meningkat tertinggi pada campuran As-rukem 2% sedangkan nilai *Marshall Quotient* mengecil.

3) Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Optimum (KAO) pada Sifat-Sifat *Marshall* terhadap Durasi Perendaman (2x75 tumbukan)

Pengaruh penggunaan variasi bahan tambah (As-rukem 1%, 2% 3% dan 5%) (2x75 tumbukan) pada Kadar Aspal Optimal (KAO) untuk aspal beton jenis AC-BC terhadap Berat Isi (kepadatan), VMA, VIM dan VFB, pada durasi perendaman 24, 48, 72 dan 96 jam adalah penurunan Berat Isi (kepadatan), kenaikan persentase pori diantara butir agregat (VMA) dan pori didalam campuran (VIM), akan tetapi mengalami penurunan persentase material yang terselimuti oleh aspal (VFB) atau campuran aspal beton lebih mengembang dan sifat adesi aspal lebih melemah, jika dibandingkan dengan menggunakan aspal murni.

Sedangkan pengaruhnya terhadap nilai Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Qoutient* (MQ) adalah nilai stabilitas mengalami penurunan lebih cepat sehingga campuran lebih rapuh dalam memikul beban lalu lintas, nilai *flow* yang mengecil, dan nilai MQ lebih besar sehingga campuran aspal beton lebih kaku dan muda retak serta berkurang kelenturannya dibandingkan dengan menggunakan aspal murni.

4) Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Optimum (KAO) terhadap Sifat-Sifat *Marshall* terhadap Durasi Perendaman (2x400 tumbukan)

Pengaruh penggunaan variasi bahan tambah (As-rukem 1%,2%,3% dan 5%) (2x400 tumbukan) pada Kadar Aspal Optimal (KAO) untuk aspal beton jenis AC-BC terhadap Berat Isi (kepadatan), VMA, VIM dan VFB, pada durasi perendaman 24, 48, 72 dan 96 jam adalah kenaikan Berat Isi (kepadatan), penurunan persentase pori diantara butir agregat (VMA) dan pori didalam campuran (VIM), serta kenaikan persentase material yang terselimuti oleh aspal (VFB) untuk campuran As-rukem 1%, 2% dan 3% memiliki pola perilaku hampir sama dengan menggunakan aspal murni. Sedangkan

untuk campuran As-rukem 5% tidak banyak perubahan pola perilaku atau hampir sama (mendatar) untuk Berat Isi, VMA, VIM maupun VFB. Selain daripada itu jika dilihat dari batas ketentuan sifat-sifat campuran AC-BC untuk VIM sebesar minimal 2,5% kondisi *refusal*, campuran hanya As-rukem 3% yang mempunyai VIM yang hampir mendatar dan dapat memenuhi syarat walaupun dilakukan perendaman sampai dengan 96 jam.

Sedangkan pengaruhnya terhadap nilai Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Qoutient* (MQ) adalah nilai stabilitas mengalami penurunan lebih cepat sehingga campuran lebih rapuh dalam memikul beban lalu lintas, nilai *flow* yang mengecil, dan nilai MQ lebih besar sehingga campuran aspal beton lebih kaku dan muda retak serta berkurang kelenturannya dibandingkan dengan menggunakan aspal murni.

5) Pada Uji Durabilitas.

Dari perhitungan baik dari Indeks Durabilitas Pertama dan Durabilitas Kedua terjadi penurunan kekuatan sisa yang makin besar seiring dengan penambahan persentase bahan tambah Gondorukem. Sisa kekuatan yang bisa diterima adalah nilai $> 75\%$ sesuai dengan spesifikasi Campuran Aspal Panas 2004 Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah yang diasumsikan dengan persentase kehilangan kekuatan.

Untuk campuran aspal beton AC-BC pada Kadar Aspal Optimum pada durasi perendaman 96 jam tumbukan 2×75 kerusakan terjadi pada variasi As-rukem 1%, 2%, 3% dan 5%. Pada campuran aspal beton kondisi *refusal* pada durasi perendaman 96 jam semua campuran aspal beton sudah mengalami kerusakan walaupun pada perendaman 24 jam untuk As-ruken 2% memiliki nilai yang paling tinggi.

5.2 Saran

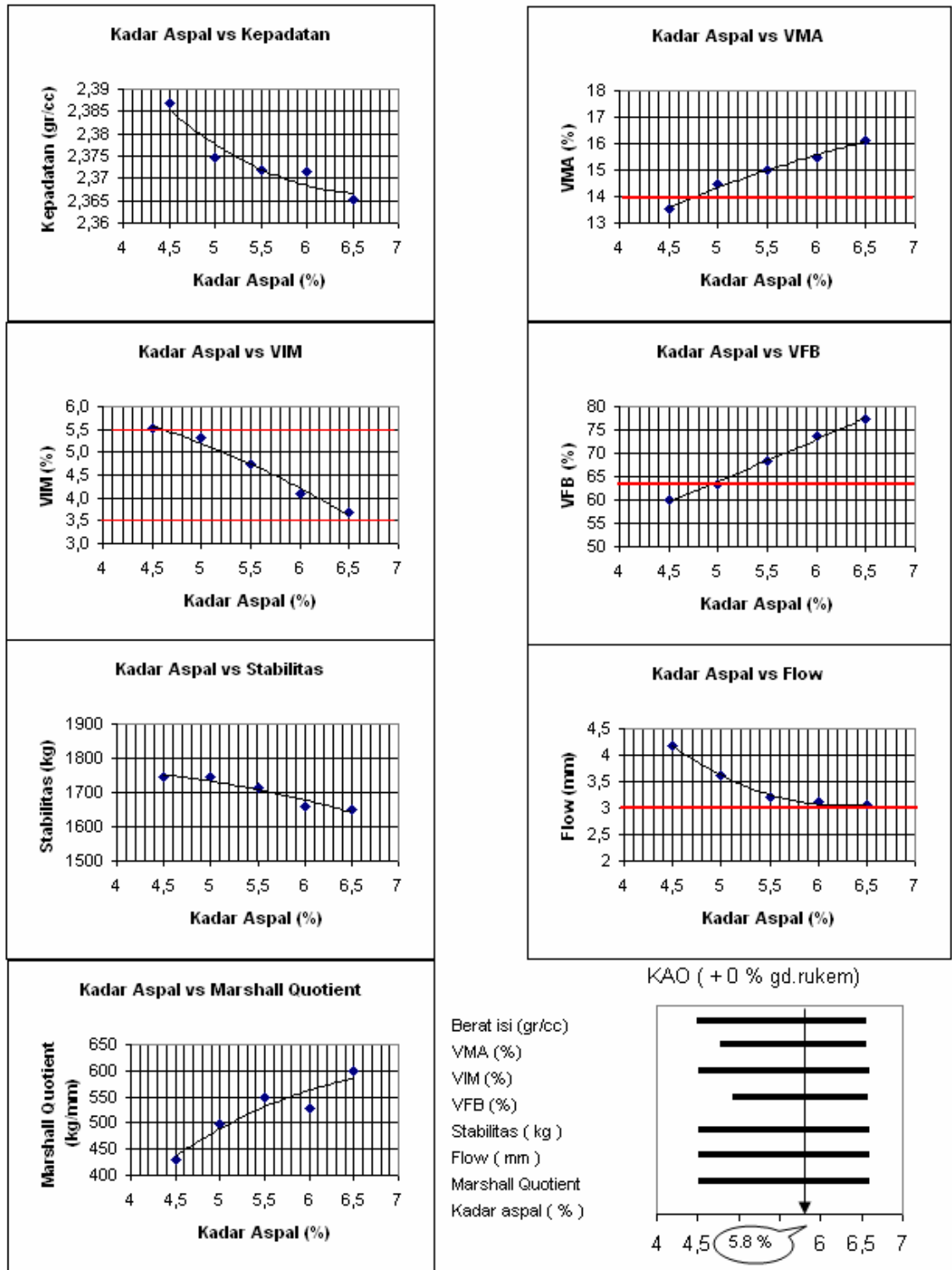
Dari hasil pengujian untuk As-rukem 2% dianggap paling optimal dilihat dari keseimbangan rongga dan penyalutan aspal terhadap agregat didalam campuran (VIM,VMA,FVB) stabilitas lebih tinggi dan campuran lebih kaku sehingga dapat memikul beban lalu-lintas lebih berat serta tidak mudah mengalami deformasi plastis, jika dibandingkan dengan menggunakan aspal murni, akan tetapi pada kondisi jalan yang sering terendam air penggunaan Gondorukem sebagai bahan tambah tidak direkomendasikan untuk digunakan

Guna pengembangan penelitian ini lebih lanjut perlu dilakukan pengujian laboratorium terhadap pengaruh Gondorukem sebagai bahan tambah aspal ditinjau dari sifat - sifat kimianya

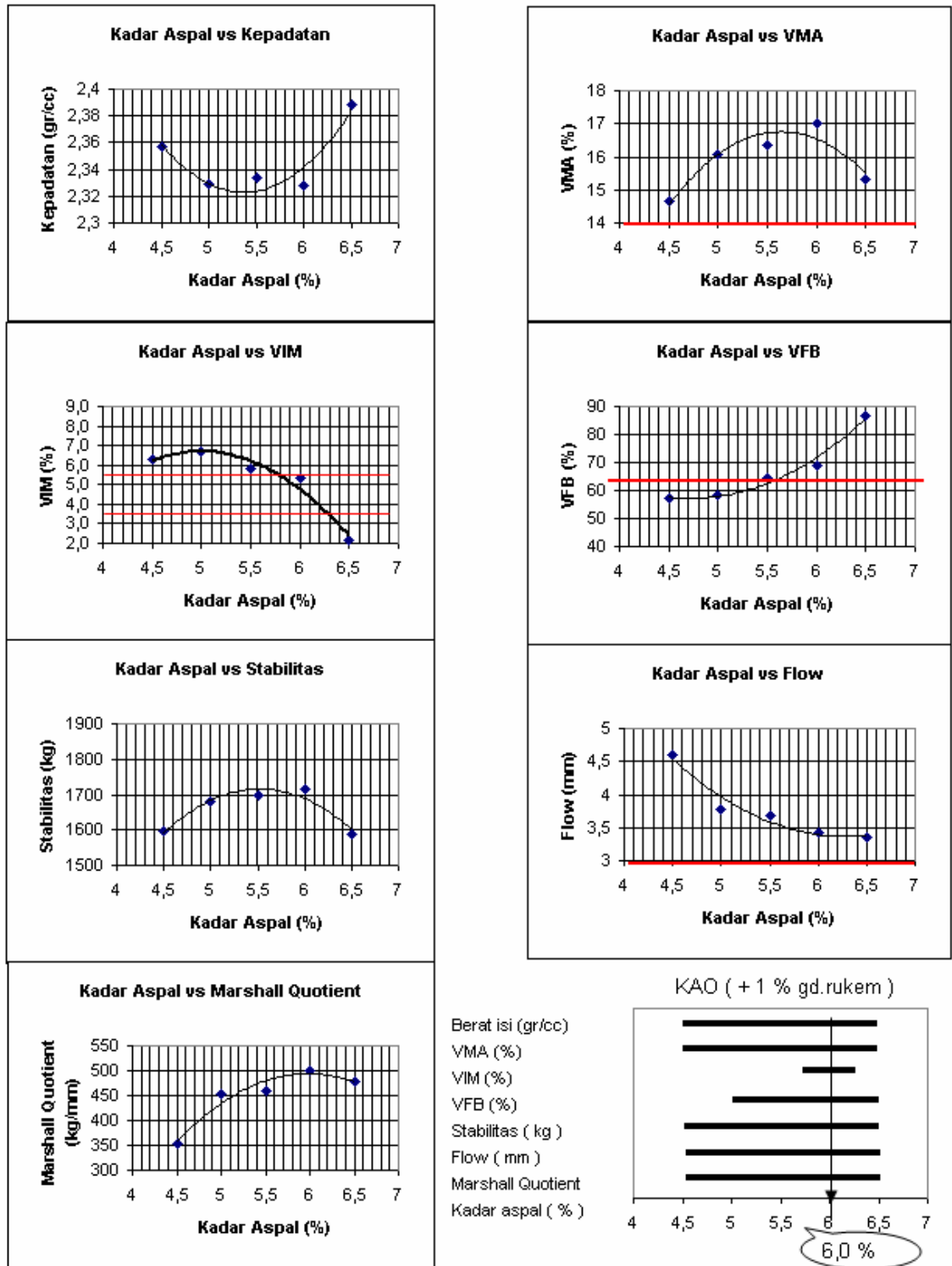
DAFTAR PUSTAKA

1. AASHTO, (1978), *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part I (Specifications)*.
2. AASHTO, (1978), *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part I (Methods of Sampling and Testing)*.
3. Anang Priambodo (2003), *Kajian Laboratorium Pengaruh Penggunaan Pasir Besi Sebagai Agregat Halus Campuran Aspal Panas HRA terhadap Sifat Marshall dan Durabilitas*, Tesis, Magister UNDIP Semarang.
4. Bagus Priyatno, (2001), *Metode Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak / Percentage Refusal Density (PRD) Berdasarkan Spesifikasi Yang Disempurnakan*, Dalam Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, Oktober 2001.
5. Bagus Priyatno, (2001), *Parameter Model Analisis Karakteristik Campuran Lapis Perkerasan Lentur Jalan*, Dalam Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, Oktober 2001.
6. Bagus Priyatno, (1999), *Perancangan Prasarana Jalan*, Dalam Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, September 1999.
7. Devisi Industri Perum Perhutani,(1996),*Buku Panduan Prosesing Gondoruken dan Terpentin*
8. Das'at Widodo, (1999), *Agregat Sebagai Bahan Perkerasan Jalan*, Dalam Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI, September 1999.
9. Deden Himawan & Cahyono Adi (2005), *Pengaruh Lateks Roadcell Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton (Laston)*, Tesis, ITB Bandung.
10. Departemen Pekerjaan Umum - Badan Penelitian dan pengembangan (2007), *Kajian Penanganan Deformasi Plastis dan Retak akibat Beban Lalu Lintas*.

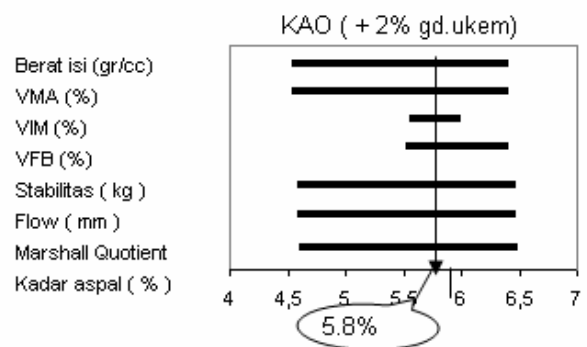
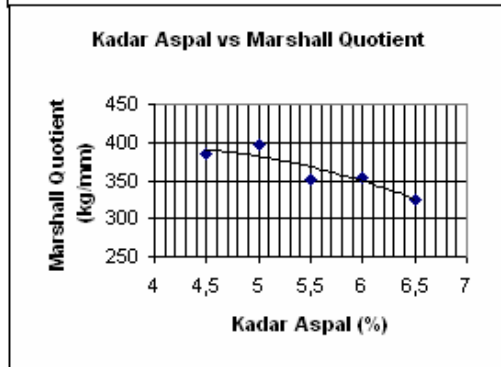
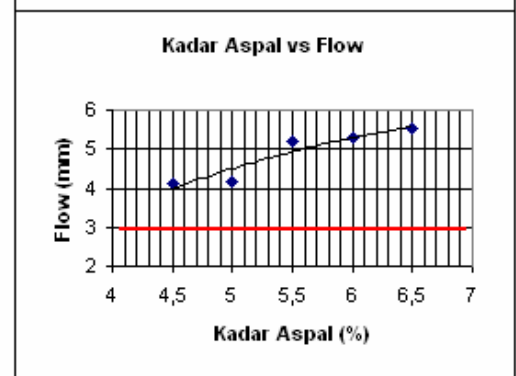
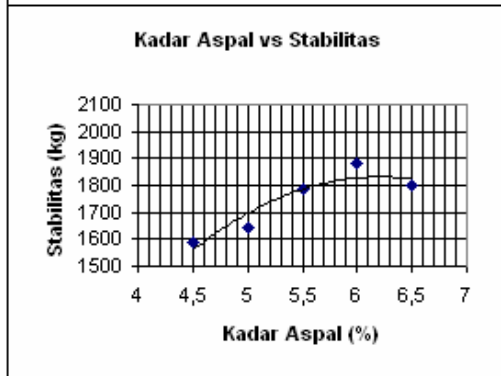
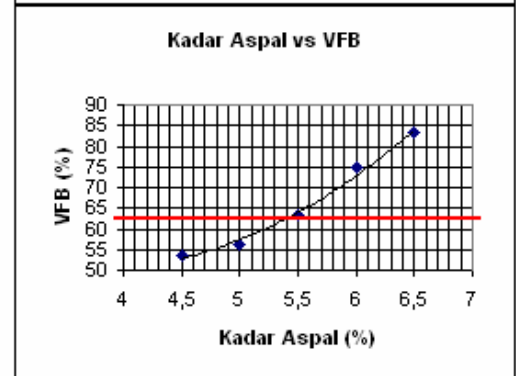
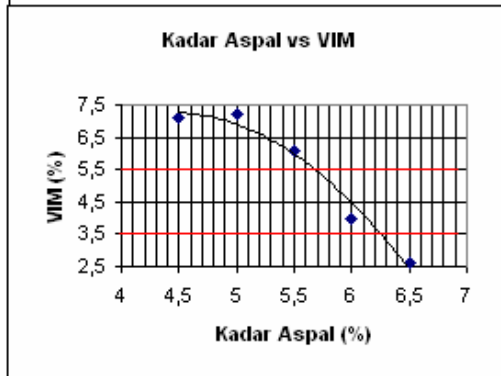
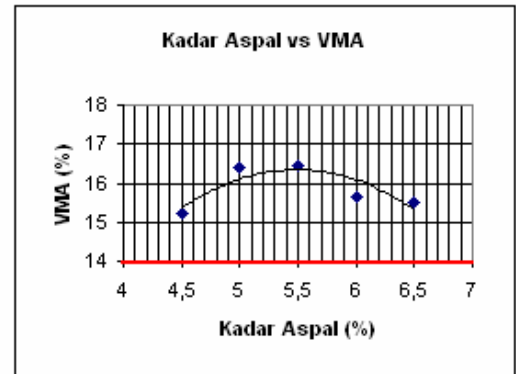
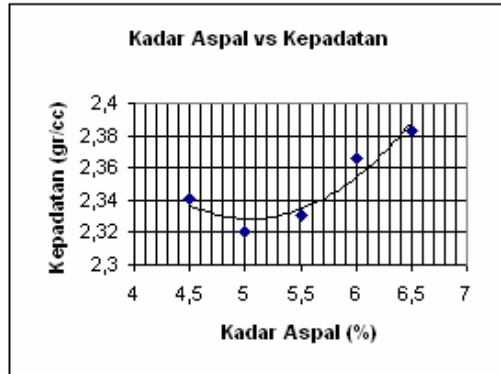
11. Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah - Badan Penelitian dan Pengembangan Kimbangwil - Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi dan Prasarana Jalan, No.023/T/BM/1999 SK.No.76/KPTS/Db/ 1999, (1999), Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak.
12. Departemen Permukiman dan Prasaran Wilayah – Direktorat Jendral Prasarana Wilayah, (2004), Spesifikasi Proyek Pembangunan Jalan dan Jembatan Propinsi Jawa Tengah.
13. Harold N. Atkins, (1996), *Highway Materials, Soils and Concretes, 3th Edition Prentice Hall, New Jersey.*
14. Hunter RN, (1984), *Bintuminous Mixture in Road Contruction*, Thomas Telford London.
15. Joko Wardoyo (2003), Pengaruh Bahan Tambah *Gilsonite* Pada *Aspahlt Concrete Wearing Course (AC-WC1)* Terhadap Nilai Propertis *Marshall* Dan Modulus Kekakuan, Tesis, Magister UNDIP Semarang
16. *Koninklijke/Shell-laboratoriun-1987, The Testing of Bintuminous Material*
17. Kerbs, R.D. and Walker, R.D., (1971), *Highway Materials, McGraw Hill, New York.*
18. Pustrans - Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi (2001), Percobaan Lapangan Aspal Modifikasi Dengan Polimer.
19. Soeprapto Totomihardjo (1995), Bahan dan Struktire Jalan Raya.
20. Shell Bitumen (1991), *The Shell Bitumen Hand Book.*
21. Terrel, R.L. and J.A. Epps (1988). *Using Additives and Modifiers in Hot Mix Asphalt. National Asphalt Pavement Association Quality Improvement Series 114.*
22. The Asphalt Institute, *Contruction of Mix Asphalt Pavements Manual Series No.22 Second Edition* Lexington USA.
23. The Asphalt Institute (1997), *Performonce Graded Asphalt Binder Specification and Testing, Superpave Series No.1 (SP-1)* Lexington USA
24. *Ullman”s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol.A23-1993.



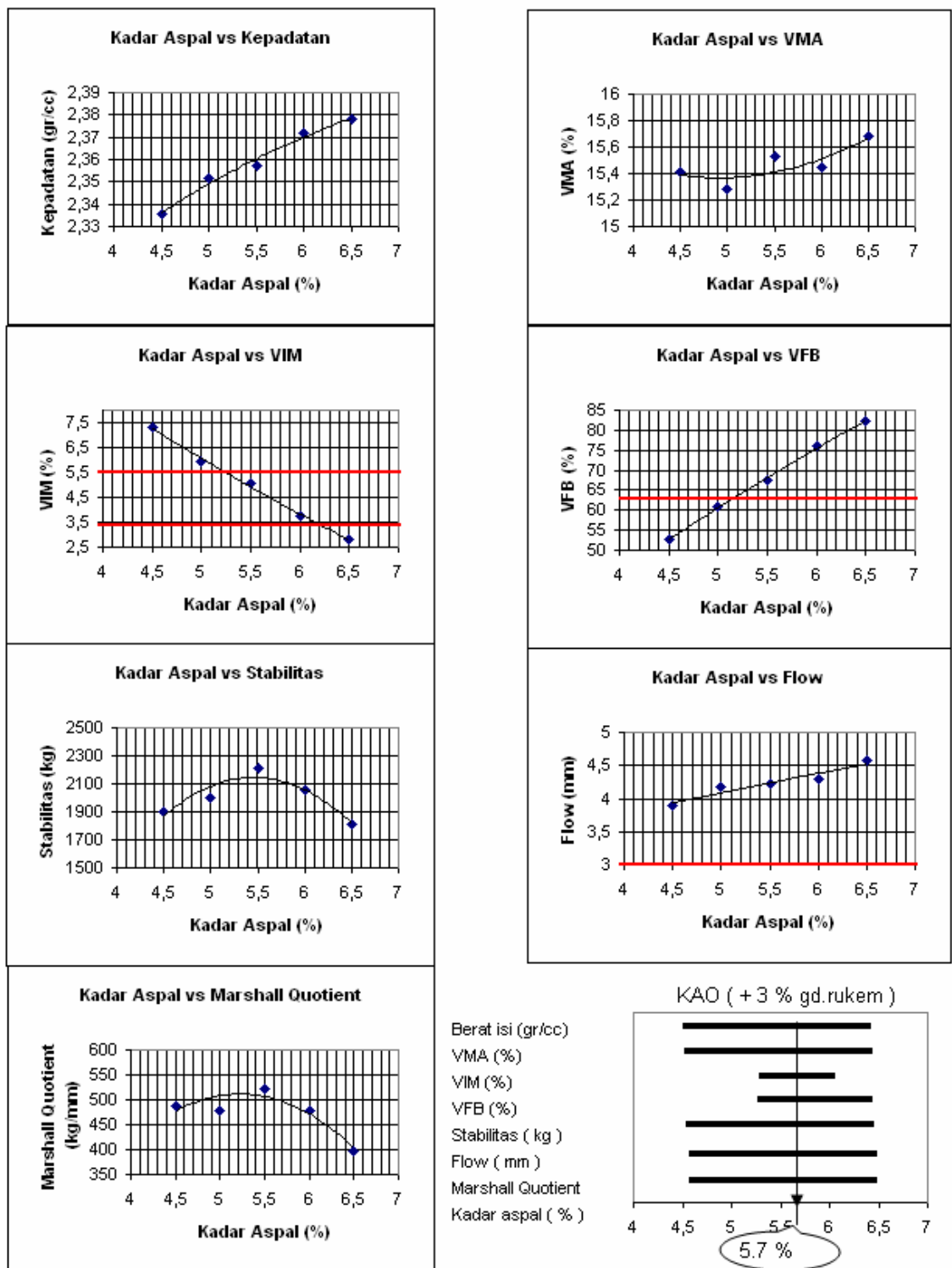
Gambar 4.1. Hubungan Parameter *Marshall* dengan kadar Aspal serta menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), untuk aspal murni (As-rukem 0%)



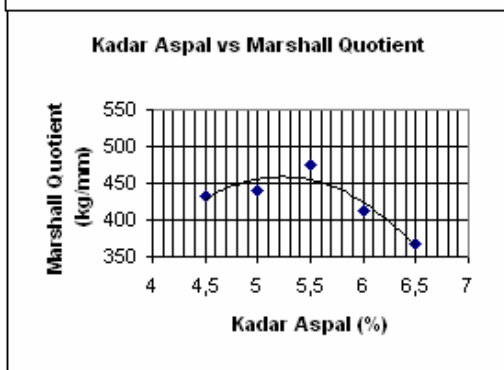
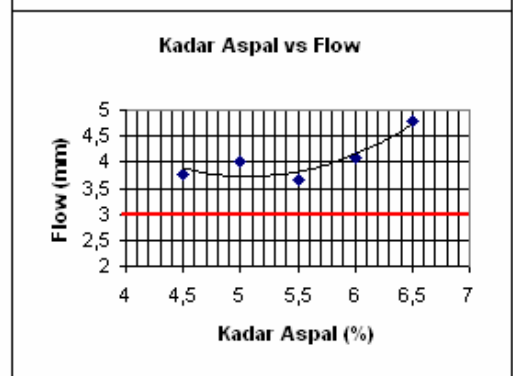
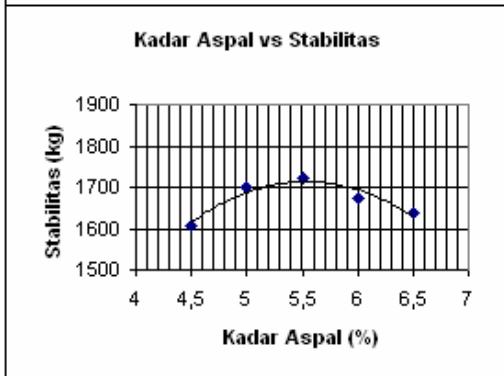
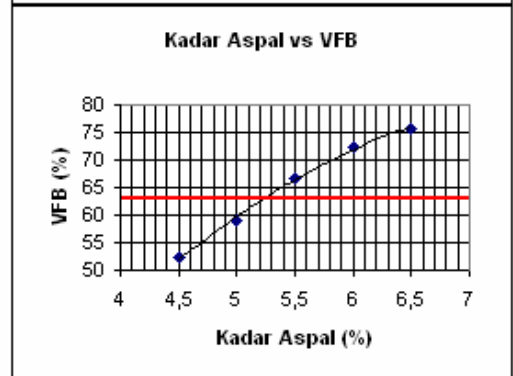
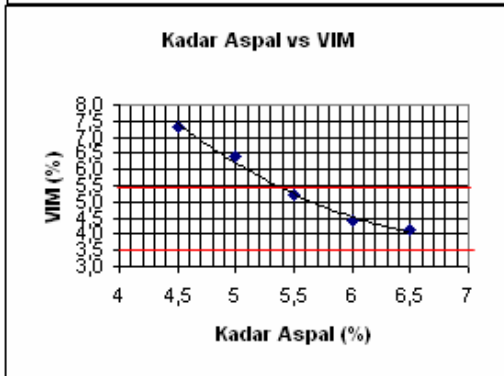
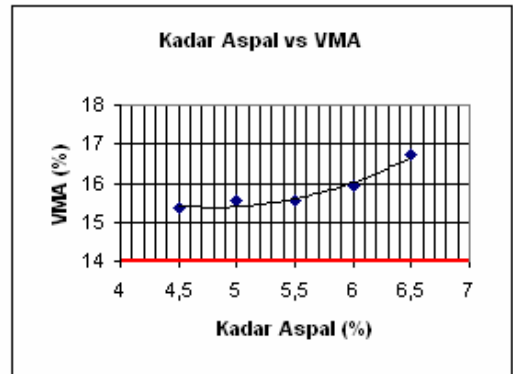
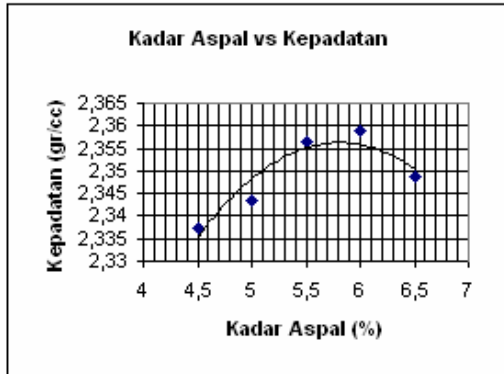
Gambar 4.2. Hubungan Parameter *Marshall* dengan kadar Aspal serta menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), untuk aspal murni + 1 % Gondorukem (As-rukem 1%)



Gambar 4.3. Hubungan Parameter *Marshall* dengan kadar Aspal serta menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), untuk aspal murni + 2 % Gondorukem (As-rukem 2%)

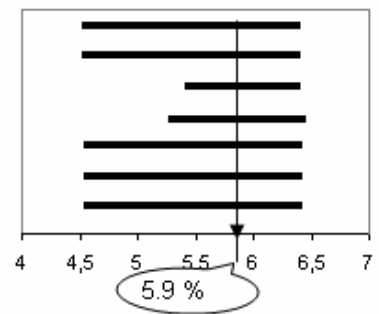


Gambar 4.4. Hubungan Parameter *Marshall* dengan kadar Aspal serta menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), untuk aspal murni + 3 % Gondorukem (As-rukem 3%)



KAO (+ 5 % gd.rukem)

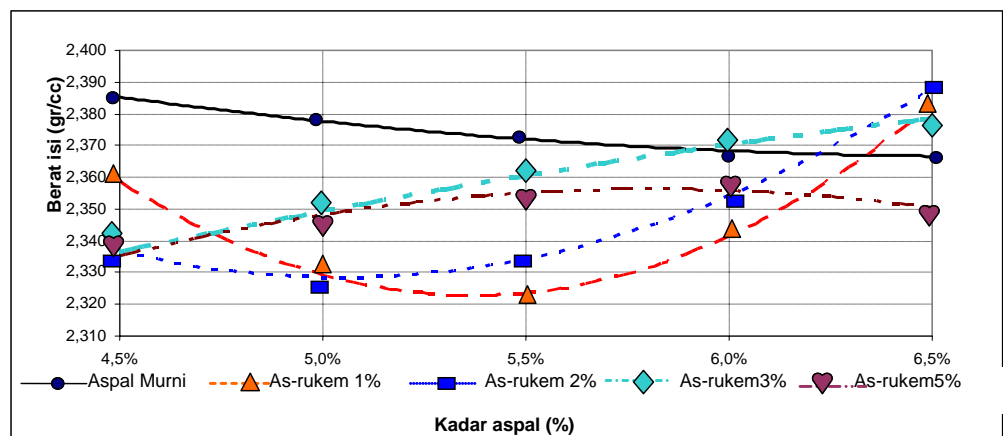
- Berat isi (gr/cc)
- VMA (%)
- VIM (%)
- VFB (%)
- Stabilitas (kg)
- Flow (mm)
- Marshall Quotient
- Kadar aspal (%)



Gambar 4.5. Hubungan Parameter *Marshall* dengan kadar Aspal serta menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), untuk aspal murni + 5 % Gondorukem (As-rukem 5%)

4.5.1. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap Berat Isi Campuran (Tumbukan : 2 x 75)

Berat isi (kepadatan) atau berat jenis *bulk* beton aspal padat (G_{mb}) menggunakan hukum Archimides, yaitu berat isi padat adalah berat isi kering dibagi dengan berat kering permukaan yang telah dikurangi berat didalam air. Volume *bulk* adalah berat kering permukaan dikurangi berat didalam air, jika berat jenis air diasumsikan 1.



Grafik 4.7 Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap Berat Isi Campuran

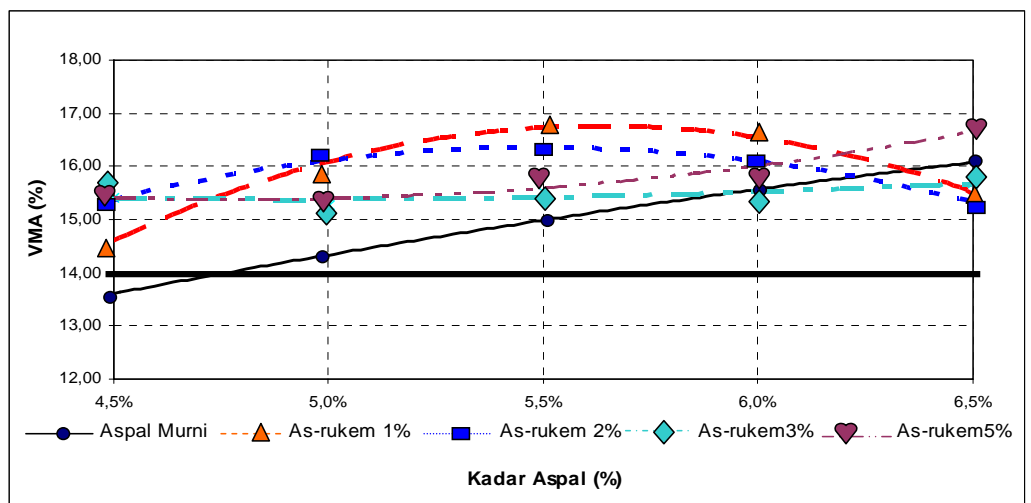
Dari penelitian untuk kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%,6% dan 6,5% dengan variasi bahan tambah Gondorukem (As-rukem) 1%,2%,3% dan 5% dengan jumlah tumbukan 2x75 terhadap berat isi (kepadatan) seperti dalam Grafik 4.7. Kadar aspal 4,5% bahan tambah mengakibatkan nilai berat isi lebih kecil dari pada hanya menggunakan aspal murni, sampai dengan kadar aspal 6,0% - 6,5% berat isi berubah menjadi lebih besar kecuali As-rukem 5%. Pengaruh perilaku untuk aspal murni terhadap kepadatan cenderung menurun membentuk garis linier (garis). Untuk As-

rukem 1% (garis coret–coret) cenderung menurun dan naik kembali membentuk lengkung yang membuka keatas dan lengkungan menjadi lebih kecil pada As-rukem 2% (garis titik–titik) dan cenderung linier pada As-rukem 3% (garis corek-titik-corek), pada As-rukem 5% (garis coret-titik-titik-coret) lengkungan berbalik membuka kearah bawah.

Hal ini dapat digambarkan bahwa bahan tambah Gondorukem 1% - 3% untuk kadar aspal 4,5% - 6% mengakibatkan campuran kurang kepadatannya, pada kadar aspal 6,5% campuran menjadi lebih padat daripada hanya menggunakan aspal murni.

4.5.2. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap VMA (tumbukan : 2 x 75)

VMA (*Void in the Meneral Agreggate*) adalah pori yang ada diantara butir agregat didalam campuran aspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. VMA digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan rongga udara yang diperlukan dalam campuran beraspal panas, besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan.



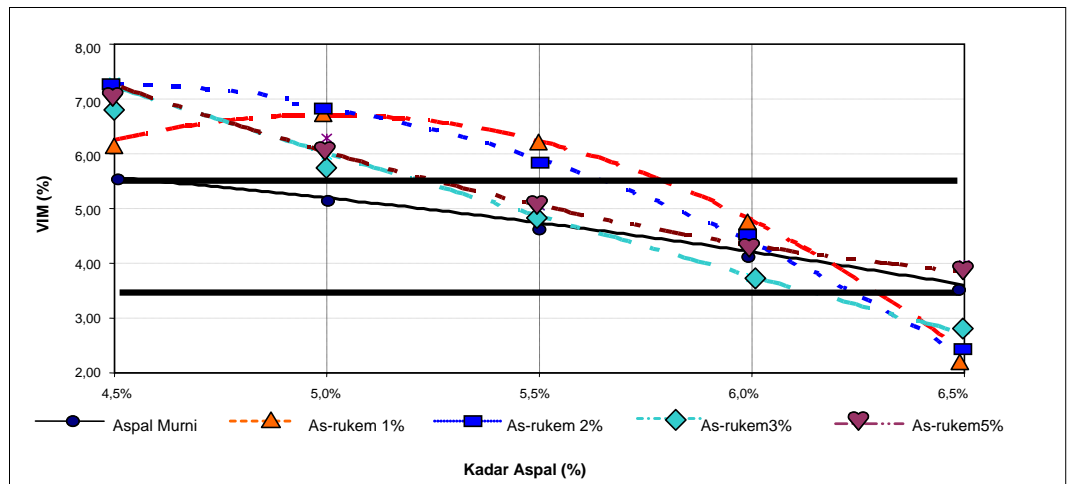
Grafik 4.8. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap VMA

Dari penelitian pengaruh Gondorukem (As-rukem) sebagai bahan tambah dengan variasi 1%,2%,3% dan 5% pada kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%,6% dan 6,5% terhadap VMA seperti dalam Grafik 4.8. Untuk aspal murni persentase VMA cenderung naik membentuk garis linier dari kadar aspal 4,5% ke 6,5% (garis). Untuk As-rukem 1% (garis coret-coret) lebih tinggi nilainya dan mempunyai perilaku yang cenderung naik dan menurun membentuk lengkung yang membuka kebawah dan lengkungan menjadi lebih kecil pada As-rukem 2% (garis titik-titik) dan cenderung linier pada As-rukem 3% (garis coret-titik-coret), pada As-rukem 5% (garis coret-titik-titik-coret coklat) lengkungan berbalik membuka kearah atas.

Pada kadar aspal 4,5%, As-rukem memiliki persentase VMA lebih besar akan tetapi pada kadar aspal 6% As-rukem 1%,2% dan3% memiliki nilai persentase VMA lebih kecil dibanding dengan aspal murni dan pada kondisi diantaranya terdapat variasi As-rukem yang memiliki titik maksimal (As-ruken 1% dan 2%) juga titik minimal (As-rukem 3%).

4.5.3. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap VIM (tumbukan : 2 x 75)

VIM (*Void In the mix*) adalah volume pori yang tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VIM dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir - butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat aspal menjadi lunak/ mengembang akibat meningkatnya temperatur. VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal kurang kedap air, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas. VIM yang terlalu kecil akan berakibat perkerasan mengalami *bleeding* jika mengalami peningkatan temperatur.



Grafik 4.9. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap VIM

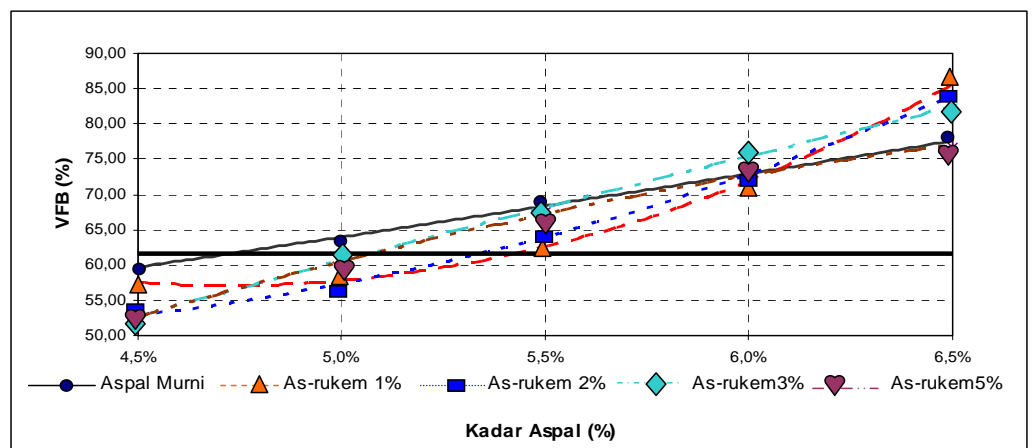
Dari penelitian untuk kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%,6% dan 6,5% dengan variasi bahan tambah Gondorukem (As-rukem) 1%,2%,3% dan 5% terhadap VIM seperti dalam Grafik 4.9. Pengaruh menghasilkan perilaku untuk aspal murni persentase VIM cenderung turun membentuk garis linier dari kadar aspal 4,5% ke 6,5% (garis). Untuk As-rukem 1% (garis coret-coret) lebih tinggi nilainya dan mempunyai perilaku yang cenderung naik dan menurun membentuk lengkung yang membuka kebawah dan lengkungan menjadi lebih kecil pada As-rukem 2% (garis titik-titik) dan cenderung linier pada As-rukem 3% (garis coret-titik-coret), pada As-rukem 5% (garis coret-titik-titik-coret coklat) lengkungan berbalik membuka kearah atas.

Pada kadar aspal 4,5% persentase VIM untuk As-rukem 1% -5% lebih besar akan tetapi pada kadar aspal 6%, As-rukem 1%-3% memiliki nilai persentase lebih kecil dari pada aspal murni. Atau pengaruh bahan tambah Gondorukem 1%,2% dan 3% untuk kadar aspal 4,5% - 6% mengakibatkan volume pori didalam campuran beton aspal lebih besar dan pada kadar aspal 6,5% lebih kecil pori dibandingkan dengan menggunakan aspal murni, nilai tertinggi pada As-rukem 5%.

4.5.4. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap VFB (tumbukan : 2 x 75)

VFB (*Void Filled with Bitumen*) adalah volume rongga yang dapat terisi oleh aspal. VFB juga bagian dari VMA yang terisi oleh aspal tetapi tidak termasuk aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat.

Dari penelitian untuk kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%,6% dan 6,5% dengan variasi bahan tambah Gondorukem (As-rukem) 1%,2%,3% dan 5% dengan jumlah tumbukan 2x75 terhadap berat isi (kepadatan) seperti dalam Grafik 4.10. Pengaruh menghasilkan perilaku untuk aspal murni persentase VFB cenderung baik membentuk garis linier dari kadar aspal 4,5% ke 6,5% (garis). Untuk As-rukem 1% (garis coret-coret) cenderung menurun dan naik kembali membentuk lengkung yang membuka keatas dan lengkungan menjadi lebih kecil pada As-rukem 2% (garis titik-titik) dan cenderung linier pada As-rukem 3% (garis coret-titik-coret), pada As-rukem 5% (garis coret-titik-titik-coret coklat) lengkungan berbalik membuka kearah bawah.



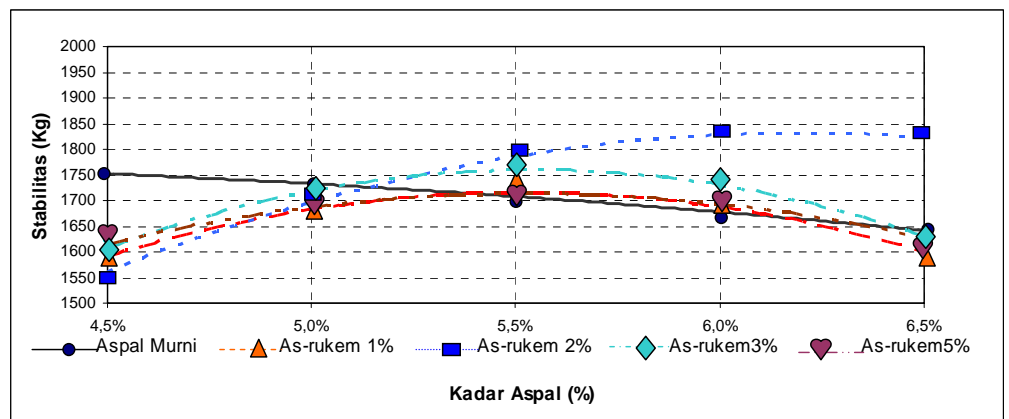
Grafik 4.10. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal terhadap VFB

Pada nilai VFB untuk aspal murni lebih tinggi dibandingkan As-rukem pada kadar aspal 4,5% tetapi pada kadar aspal 6%-6,5%,

As-rukem 1%-3% memiliki nilai persentase VFB lebih besar dari pada aspal murni. Atau bahwa pengaruh bahan tambah Gondorukem 1%,2% dan 3% untuk kadar aspal 4,5% - 6% mengakibatkan volume pori yang terisi aspal lebih kecil dari pada menggunakan aspal murni, pada kadar aspal 6% - 6,5% pori yang terisi aspal menjadi lebih banyak dengan menggunakan As-rukem 1%,2% dan3% daripada menggunakan aspal murni.

4.5.5. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap Stabilitas (tumbukan : 2 x 75)

Pemeriksaan stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban, untuk mendapatkan temperatur terpanas dilapangan, maka sebelum pemeriksaan benda uji dipanaskan terlebih dahulu selama 30 atau 40 menit dengan temperatur 60 °C didalam *water bath*. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat *Marshall*, dan beban diberikan kepada benda uji dengan kecepatan 2 inci/ menit atau 51 mm/ menit. Beban pada saat keruntuhan dibaca pada arloji pengukuran pada *proving ring*. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan kalibrasi *proving ring* dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian atau volume benda uji.



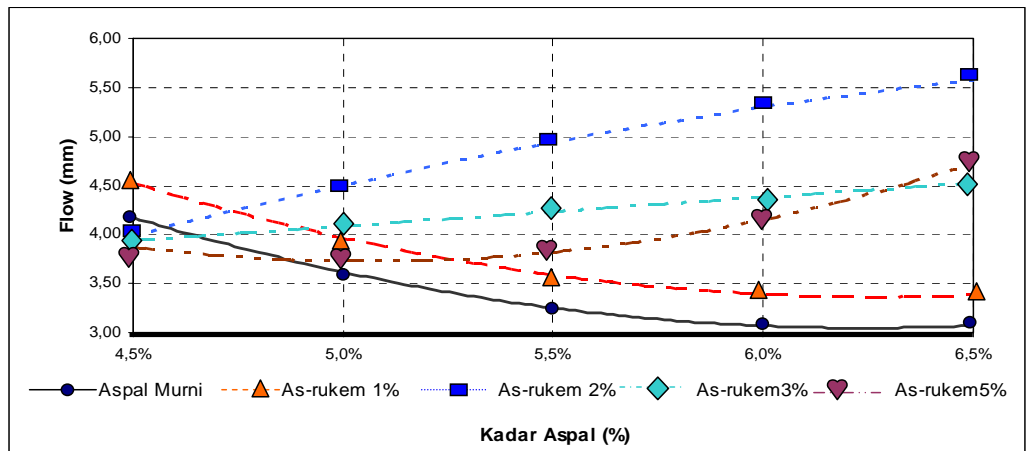
Grafik 4.11. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap Stabilitas

Dari pengujian pengaruh yang terjadi akibat variasi bahan tambah Gondorukem dan kadar aspal terlihat dengan penambahan bahan tambah Gondorukem 1%,2%,5% pada kadar aspal 4,5% dapat dilihat pada Grafik 4.11 menghasilkan nilai stabilitas yang terjadi lebih kecil dari pada nilai stabilitas menggunakan aspal murni, namun pada kadar bahan tambah Gondorukem (As-rukem) 3% nilai stabilitas lebih tinggi pada kadar aspal 4,5% - 6,5%. Dari garis trend, perilaku variasi As-rukem pada posisi kadar aspal 4,5% - 6,5% membentuk parabola yang membuka kebawah berbeda dengan menggunakan aspal murni dengan garis trend, perilaku campuran yang membentuk garis linier menurun (makin kecil nilai stabilitasnya) dari kadar aspal 4,5% - 6,5%

4.5.6. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap *Flow* (tumbukan : 2 x 75)

Nilai *flow* dapat dibaca pada *flowmeter* dibaca pada nilai arloji pengukur *proving ring* dibaca pada saat keruntuhan, nilai *flow* digunakan untuk mengukur deformasi yang terjadi akibat beban.

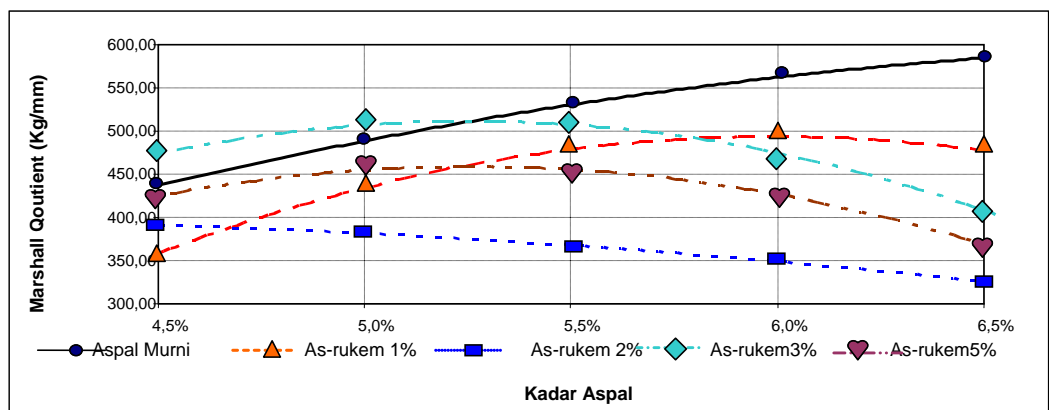
Hasil pengaruh pengujian variasi bahan tambah dan kadar aspal terhadap *flow* dipresentasikan pada Grafik 4.12. Hasil pengujian kadar bahan tambah Gondorukem (As-rukem) 1% - 5% terhadap kadar aspal 4,5% - 6,5% menunjukkan nilai *flow* yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan aspal murni, dan nilai *flow* campuran As-rukem 2%-5% bertambah besar dengan penambahan kadar aspal.



Grafik 4.12. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap Flow

4.5.7. Pengaruh Variasi Bahan Tambah Dan Kadar Aspal Terhadap Marshall Quotient (tumbukan : 2 x 75)

Marshall Quotient adalah angka perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*. Dilakukan untuk mengetahui kelenturan campuran dan peningkatan daya tahan terhadap retak pada campuran aspal beton.



Grafik 4.13. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Terhadap Marshall Quotient (MQ)

Hasil pengaruh pengujian variasi bahan tabah dan kadar aspal terhadap *MQ* dipresentasikan pada Grafik 4.13. Hasil pengujian kadar bahan tambah Gondorukem (As-rukem) 1% - 5% terhadap

kadar aspal 4,5% - 6,5% menunjukkan nilai MQ lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan aspal murni, penambahan bahan Gondorukem sebagai bahan tambah berakibat meningkatkan kelenturan campuran beton aspal dan menambah kekuatan campuran aspal beton terhadap retek akibat pembebanan.

4.6. Hasil Pembahasan Penelitian Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal terhadap Sifat – Sifat *Marshall*

Pengaruh variasi bahan tambah pada kadar aspal terhadap sifat *Marshall* yang meliputi *Berat Isi*, *VMA*, *VFB*, *VIM*, *Stabilitas*, *Flow* dan *Marshall Quotient* pada pengujian aspal ditambah Gondorukem (As-rukem) 1% - 5% berakibat kepadatannya (*Berat Isi*) berkurang, rongga diantara butiran agregat (*VMA*) membesar, rongga yang terisi aspal (*FVB*) juga membesar dan rongga dalam campuran (*VIM*) mengecil pada saat kadar aspal 6.5% walaupun pada saat kadar aspal 4,5% dalam kondisi sebaliknya, kecuali campuran As-rukem 5%. Pada stabilitas campuran kekuatannya melemah (*stabilitas turun*) kecuali campuran As-rukem 2%, nilai *flow* yang meningkat tertinggi pada campuran As-rukem 2% sedangkan nilai *Marshall Quotient* mengecil.

Pengaruh-pengaruh yang timbulkan sebagai akibat keterpaduan sifat aspal dan Gondorukem antara lain viskositas (*kekentalan*) pada waktu cair, kekerasan dalam suhu ruang, bahan-bahan penyusun, kepekaan terhadap suhu. Selain itu pengaruh yang terjadi juga akibat proses pelaksanaan penelitian.

4.7. Hasil Penelitian Variasi Bahan Tambah Dalam pada Masa Perendaman

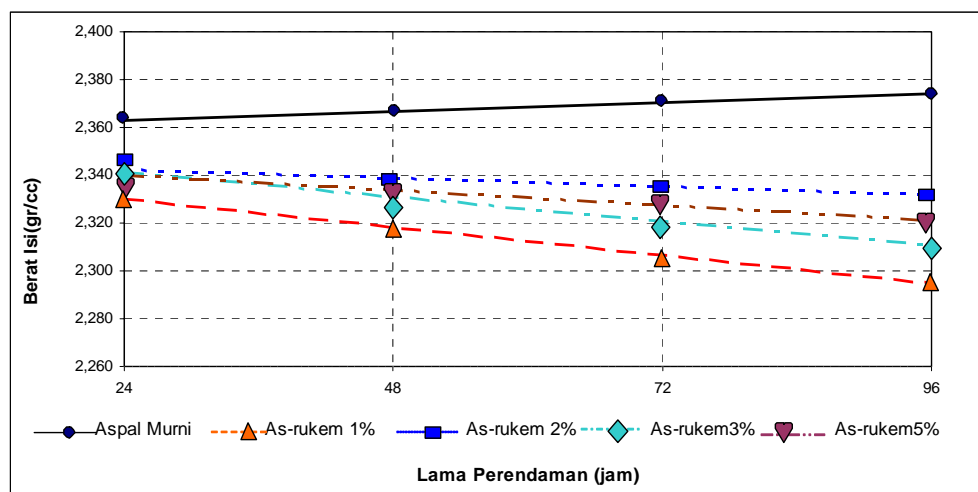
Dari hasil pengujian aspal beton jenis AC-BC pada masa perendaman dapat dilihat secara lengkap pada Lampiran. Perubahan karakteristik /perilaku aspal beton pada kondisi Kadar Aspal/ As-rukem Optimum (KAO). Kadar Aspal Optimum untuk campuran AC-BC dengan bahan pengikat aspal murni (As-rukem 0%) sebesar 5,8%, As-rukem 1% sebesar

6,0%, As-rukem 2% sebesar 5,8%, As-rukem 3% sebesar 5,7% dan As-rukem 5 % sebesar 5,9 %. Akibat variasi penggunaan bahan tambah Gondorukem pada sifat-sifat *Marshall* dalam masa perendaman 24, 48, 72, dan 96 jam dipresentasikan melalui grafik-grafik dibawah ini.

4.7.1. Hubungan Berat Isi Campuran dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 75)

Perubahan berat isi / kepadatan juga menggambarkan perubahan fisik campuran bagaimana perilaku yang terjadi pada campuran akibat dilakukan perendaman dipresentasikan pada Grafik 4.14. Pengaruh bahan tambah Gondorukem terhadap berat isi pada masa perendaman untuk aspal beton kondisi KAO dengan menggunakan bahan pengikat aspal murni dan menggunakan bahan tambah Gondorukem (As-rukem). Pada penggunaan aspal murni berat isi mempunyai nilai yang lebih besar atau campuran mengalami bertambah padat/ menyusut, sedangkan dengan penambahan Gondorukem nilai mengalami penurunan atau campuran mengembang seiring dengan durasi perendaman.

Perubahan fisik ini terjadi karena kepekaan sifat Gondorukem terhadap pengaruh air akan mengalami perlemahan dalam mempertahankan ikatannya dibandingkan dengan menggunakan aspal murni.

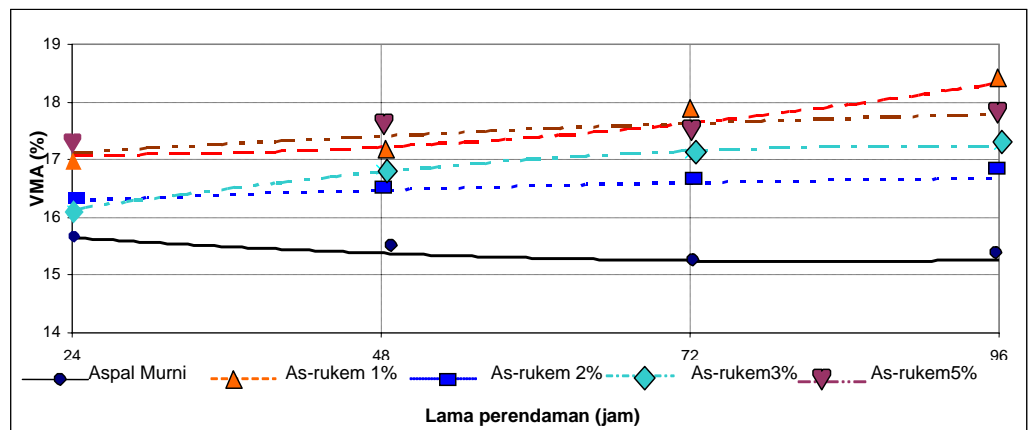


Grafik 4.14. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap Berat Isi pada Masa Perendaman (2x75 tumbukan)

4.7.2. Hubungan VMA dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 75)

Pengaruh VMA campuran dengan kadar Gondorukem terhadap lama perendaman kondisi KAO dipresentasikan pada Grafik 4.15. Nilai VMA pada variasi campuran 0 % Gondorukem terhadap aspal murni lama perendaman selama 96 jam nilainya lebih rendah dari pada nilai VMA pada variasi campuran 1 % - 5 % Gondorukem terhadap aspal.

Nilai tertinggi VMA terhadap lama perendaman selama 96 jam diperoleh pada variasi campuran 1 % Gondorukem (As-rukem 1%) terhadap kadar aspal.

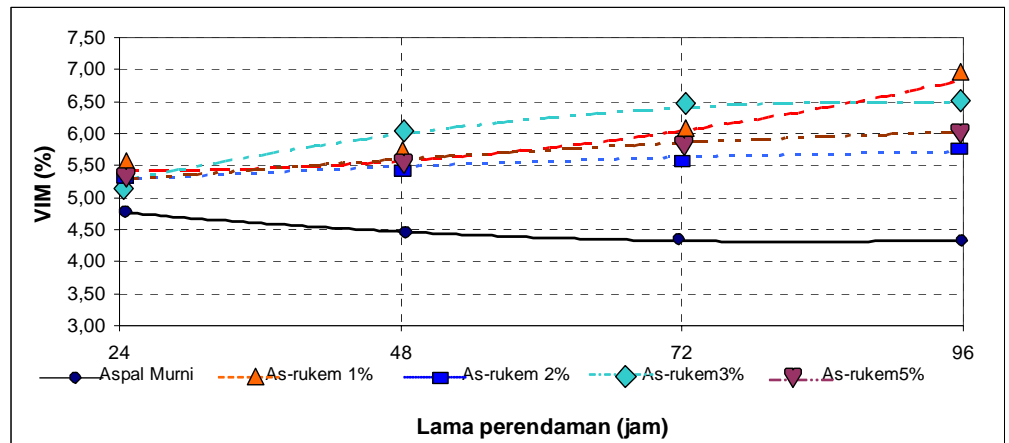


Grafik 4.15. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap VMA pada Masa Perendaman (2x75 tumbukan)

Secara keseluruhan pengaruh variasi bahan tambah dengan Gondorukem 1% - 5% dari kadar aspal optimum terhadap durasi perendaman kondisi 2 x 75 tumbukan mengakibatkan nilai VMA akan mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan hanya menggunakan aspal murni saja, pori yang ada diantara butir agregat didalam campuran beton aspal akan bertambah kecil. Pada kelima sampel diatas masih berada diatas 14 % (syarat minimal spesifikasi).

4.7.3. Hubungan VIM dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 75)

VIM (*Void In the Mix*) menyatakan banyaknya persentase rongga dalam campuran total. Nilai rongga dalam campuran dipengaruhi oleh kadar aspal pada campuran beraspal panas, dengan bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butiran agregat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran semakin berkurang. Hal ini ditunjukkan pada variasi campuran 0 % Gondorukem (aspal murni) terhadap kadar aspal optimum yang nilainya lebih kecil dibanding dengan variasi bahan tambah (As-rukem 1% - 5%) dengan lama perendaman 24 jam – 96 jam diprentasikan pada Grafik 4.16. Nilai VIM mengalami peningkatan pada tiap variasi campuran yaitu saat variasi campuran 1 % - 5 % Gondorukem terhadap aspal dengan lama perendaman 24 jam – 96 jam, sedangkan untuk aspal murni mengalami penurunan pada durasi perendaman.

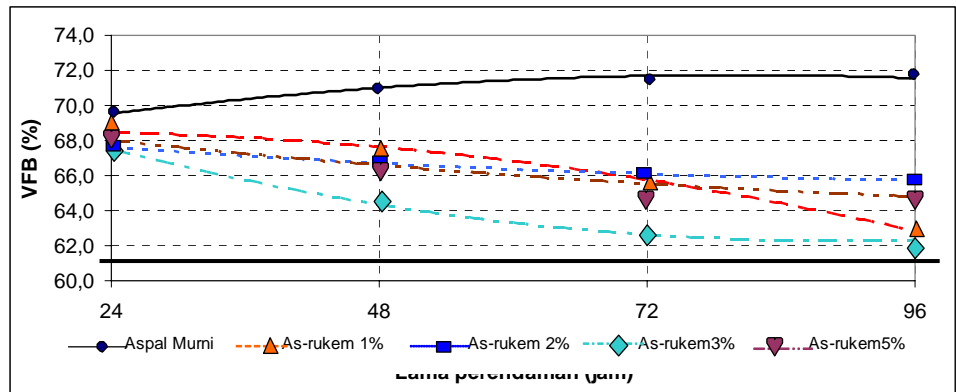


Grafik 4.16. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap VIM pada Masa Perendaman (2x75 tumbukan)

Peningkatan ini menunjukkan bahwa rongga didalam campuran menjadi membesar yang disebabkan kemampuan campuran Gondorukem terhadap aspal dalam mempertahankan ikatan antar agregat melemah atau terjadi *swelling* (mengembang) setelah dilakukan perendaman, sedang mengguakan aspal murni mengalami pengaruh yang sebaliknya.

4.7.4. Hubungan VFB dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 75)

Nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) menunjukkan persentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai VFB menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar VFB yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran beraspal panas akan semakin awet. Begitu sebaliknya apabila VFB terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan tipis yang menyebabkan campuran beraspal panas tidak awet.



Grafik 4.17. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap

VFB pada Masa Perendaman (2x75 tumbukan) Nilai VFB yang besar menunjukkan agregat terselimuti aspal secara sempurna sehingga campuran akan lebih kedap air dan tidak mudah teroksidasi yang pada akhirnya akan meningkatkan durabilitas campuran.

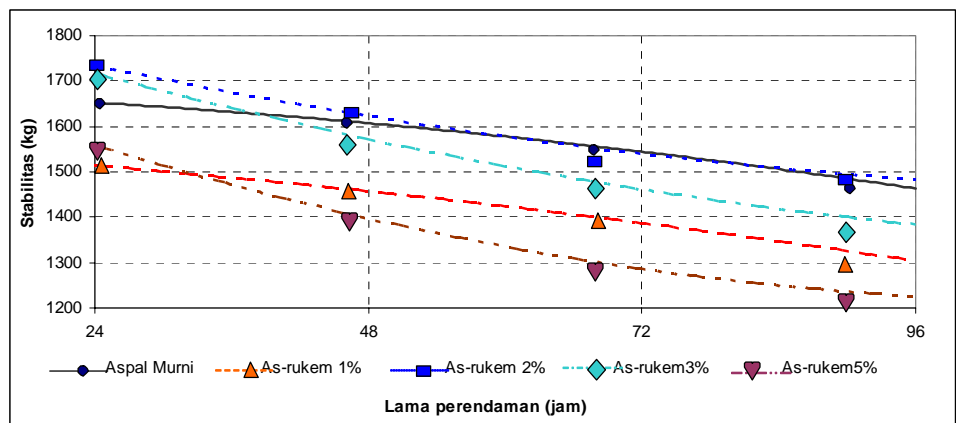
Demikian sebaliknya jika nilai VFB kecil kekedapan campuran terhadap air akan berkurang sehingga mudah teroksidasi yang selanjutnya akan menurunkan durabilitas campuran serta akan mengakibatkan mudah pelepasan ikatan antar butiran.

Hubungan VFB terhadap lama perendaman untuk jumlah tumbukan 2 x 75 dipresentasikan pada Grafik 4.17. Pada grafik dapat terlihat perilaku campuran aspal murni terhadap kadar aspal optimum dengan lama perendaman 24 jam – 96 jam VFB mengalami peningkatan. Lama perendaman mengakibatkan turunnya nilai VFB pada variasi campuran 1% - 5% Gondorukem terhadap aspal dan berbanding terbalik dengan menggunakan aspal murni. Dengan durasi perendaman lebih lama sifat fisik campuran dengan menggunakan variasi As-rukem mengalami perlemahan dalam mempertahankan ikatan karena pengaruh air sehingga mengurangi kemampuan untuk dapat melakukan penyelimutan pada agregat.

4.7.5. Hubungan Stabilitas dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 75)

Stabilitas adalah besarnya beban maksimum yang dapat dicapai oleh bahan susun campuran beraspal panas yang dinyatakan dalam satuan beban. Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam memikul beban lalu lintas.

Dari hasil pengujian dapat dilihat pada Grafik 4.18, variasi Gondorukem terhadap aspal dengan durasi perendaman lebih lama diperoleh nilai stabilitas yang menurun. Pada variasi campuran 2 % Gondorukem terhadap aspal menghasilkan nilai stabilitas tertinggi. Sedangkan variasi campuran Gondorukem 3 % dan 5 %, dengan semakin lama campuran terendam air campuran menjadi berkurang ikatannya antar agregat yang menyebabkan sifat kohesi maupun adesi campuran terhadap agregat berkurang dan menyebabkan nilai stabilitas menurun. Sedangkan penggunaan aspal murni, pada durasi perendaman 96 jam nilai stabilitas lebih tinggi dibanding dengan menggunakan bahan tambah Gondorukem.

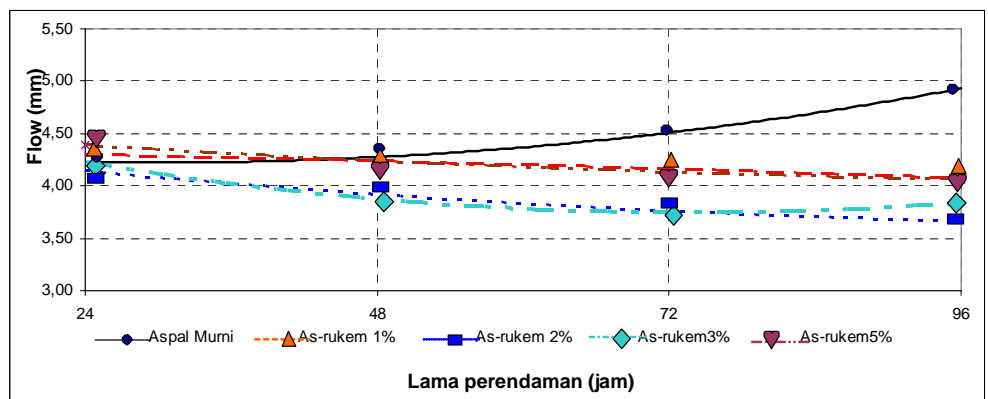


Grafik 4.18. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap Stabilitas pada Masa Perendaman (2x75 tumbukan)

4.7.6. Hubungan Flow dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 75)

Kelelahan (*flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. *Flow* merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas. Nilai *flow*

menyatakan besarnya deformasi bahan susun benda uji, campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dengan stabilitas tinggi akan cenderung menghasilkan campuran beraspal panas yang kaku dan getas (*brittle*), sehingga akan mudah retak (*crack*) apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran beraspal panas mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat.

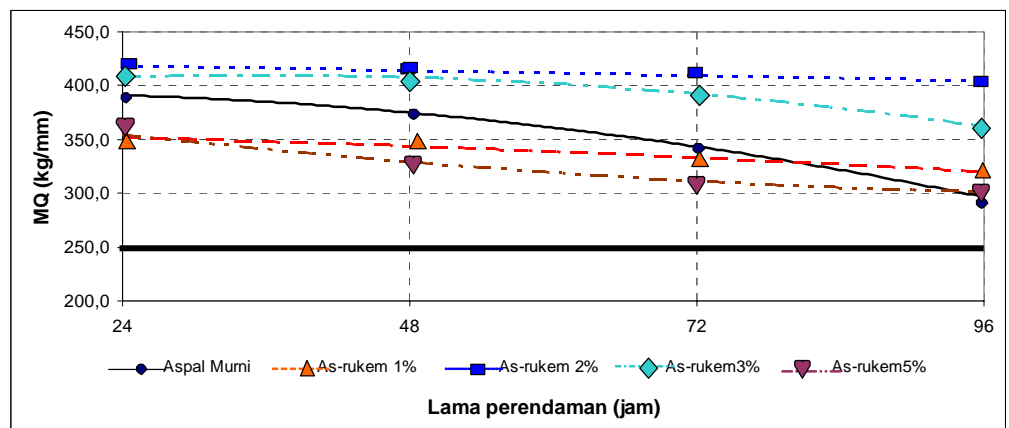


Grafik 4.19. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap *Flow* pada Masa Perendaman (2x75 tumbukan)

Dari hasil pengujian dapat dilihat pada Grafik 4.19, variasi campuran 0 % Gondorukem (aspal murni) garis hitam terhadap aspal dengan bertambahnya lama perendaman diperoleh nilai *flow* yang mengalami peningkatan, ini mengindikasikan bahwa campuran mudah mengalami deformasi plastis. Sedangkan pada variasi campuran 1 % - 5 % Gondorukem terhadap aspal mengalami penurunan karena sifat fisik Gondorukem dan aspal menurunkan tahanan geser / menurunkan kekuatan ikatan di dalam campuran akibat durasi lama perendaman dalam air.

4.7.7. Hubungan MQ dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 75)

MQ (*Marshall Quotient*) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai MQ tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran dan saling mengunci antar butiran yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta nilai *flow* yang dipengaruhi oleh viskositas, kadar aspal, gradasi bahan susun, dan jumlah tumbukan.



Grafik 4.20. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap MQ pada Masa Perendaman (2x75 tumbukan)

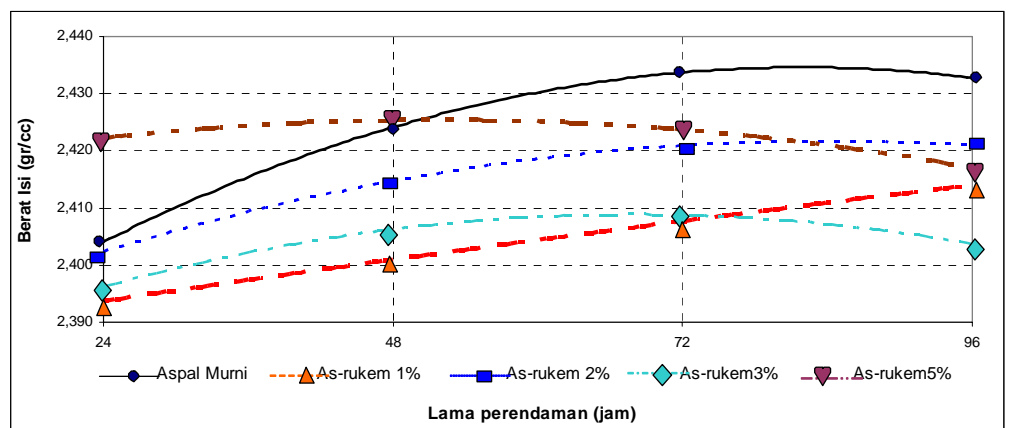
Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki MQ tinggi campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan.

Dari Grafik 4.20 diatas variasi campuran 1 % - 5%. Pengaruh Gondorukem terhadap aspal mempunyai nilai MQ terbesar pada lama perendaman 24, selanjutnya pada durasi perendaman 48, 72 dan 96 jam mengalami penurunan.

Pengaruh Gondorukem sebagai bahan tambah pada aspal akan mempengaruhi campuran aspal beton bertambah fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur.

4.7.8. Hubungan Berat Isi Campuran dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 400)

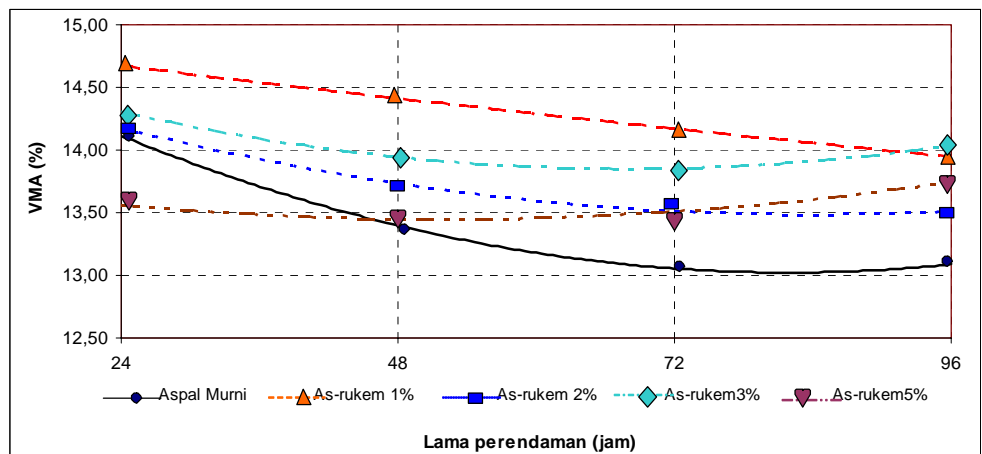
Hubungan Berat Isi (kepadatan) pada kondisi *refusal* (2x400 tumbukan) didalam mempertahankan kondisinya jika dilakukan perendaman dengan durasi 24, 48, 72 dan 96 jam. Pada Grafik 4.21 terlihat untuk durasi perendaman 24 jam pada variasi 1% - 3% nilai lebih kecil dari aspal murni sedangkan pada variasi 5% memiliki kepadatan yang tertinggi. Pada durasi perendaman 48 sampai dengan 96 jam perilaku kepadatan aspal murni meningkat, sedangkan As-rukem 1%-5% pada dari durasi perendaman 24 - 96 jam mempunyai perilaku fluktuatif dari meningkat pada variasi As-rukem 2% berangsur – angsur menurun sampai dengan variasi As-rukem 5%. Seperti yang dijelaskan diatas pada uji perendaman 2 x 75 tumbukan, bahwa aspal beton dengan bahan pengikat As-rukem pada kondisi KAO jika dilakukan perendaman akan mengalami pengembangan seiring dengan durasi perendaman dengan penambahan kadar Gondorukem berangsur–angsur menurun.



Grafik 4.21. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap

Berat Isi pada Masa Perendaman (2x400 tumbukan)

4.7.9. Hubungan VMA dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 400)



Grafik 4.22. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap VMA pada Masa Perendaman (2x400 tumbukan)

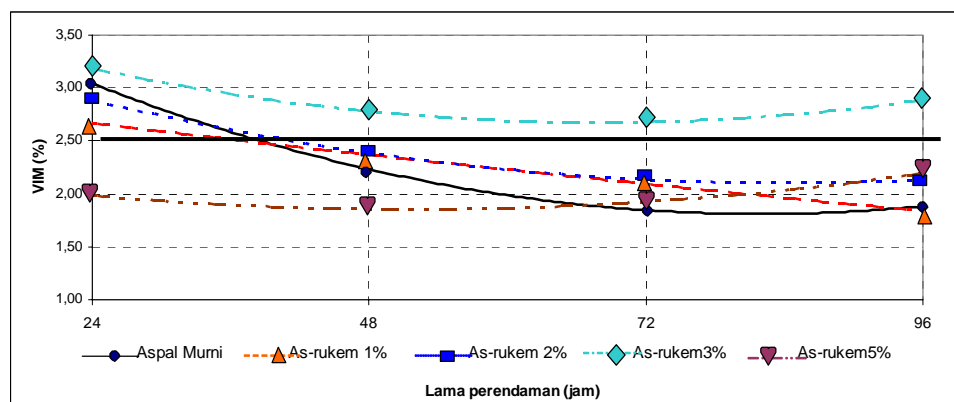
Dari analisa uji *Marshall* bahwa nilai VMA pada variasi campuran 0 %, 1 % dan 2% Gondorukem terhadap aspal dengan bertambahnya lama perendaman menghasilkan nilai VMA yang menurun. Nilai VMA yang mengalami penurunan ini terjadi karena energi pemadatan yang lebih tinggi sehingga menurunkan nilai rongga dalam campuran mengecil yang mengakibatkan nilai VMA *refusal density* turun.

Secara keseluruhan pengaruh durasi perendaman pada variasi campuran 0 %, 1 %, 2 %, dan 3% Gondorukem terhadap aspal pada lama perendaman nilai VMA berada diatas lebih tinggi dibanding hanya menggunakan aspal murni dan perilaku As-rukem 1%-5% pada durasi perendaman 24 - 96 jam dapat dilihat pada Grafik 4.22, menghasilkan perilaku fluktuatif dari menurun pada variasi As-rukem 2% berangsur – angsur meningkat sampai dengan variasi As-rukem

5%. Perilaku VMA pada As-rukem setia variasinya berbanding terbalik dengan berat isi/ kepadatan, untuk semua variasi bahan tambah. Pada durasi perendaman 24 jam nilai As-rukem lebih tinggi kecuali As-rukem 5%. Untuk durasi perendaman lebih dari 48 jam As-rukem 1%-5% mempunyai nilai lebih besar dibandingkan menggunakan aspal murni.

4.7.10. Hubungan VIM dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 400)

Hubungan VIM (*Void In the Mix*) dengan variasi kadar Gondorukem terhadap lama perendaman dapat dilihat pada Grafik 4.23. Pada variasi kadar Gondorukem 0 %, 1 % dan 2 % nilai VIM mengalami penurunan dengan bertambahnya lama perendaman, campuran aspal beton mengalami penyusutan.



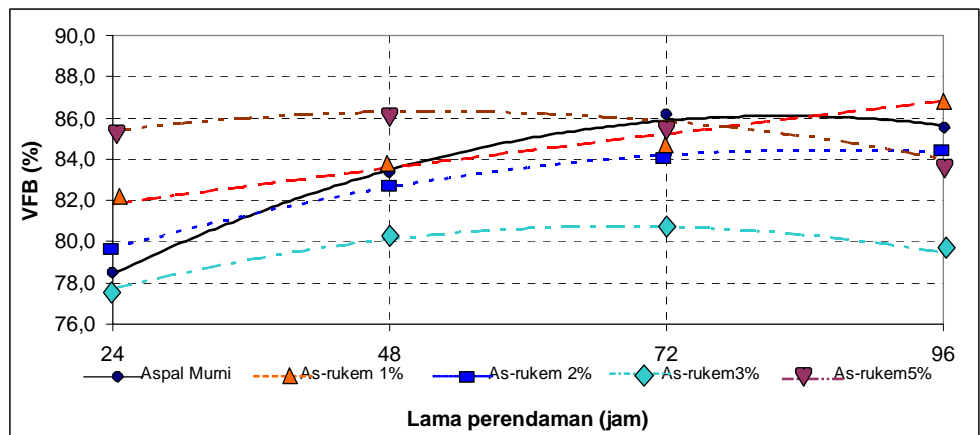
Grafik 4.23. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap VIM pada Masa Perendaman (2x400 tumbukan)

Pada variasi campuran 5 % Gondorukem terhadap aspal dengan bertambahnya lama perendaman mengalami peningkatan nilai VIM dengan nilai terendah pada lama perendaman 24 jam dan nilai VIM tertinggi dengan lama perendaman 96 jam. Peningkatan ini menunjukkan bahwa rongga antar agregat menjadi membesar, yang disebabkan kemampuan campuran Gondorukem terhadap aspal

dalam mempertahankan ikatan antar agregat melemah, akibatnya terjadi *swelling* (mengembang).

4.7.11. Hubungan VFB dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 400)

Nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) menunjukkan persentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai VFB menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar VFB akan menunjukkan semakin kecil nilai VIM yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran beraspal panas akan semakin awet. Begitu sebaliknya apabila VFB terlalu kecil, maka rongga yang terisi aspal akan semakin sedikit sehingga agregat yang terselimuti aspal akan tipis yang menyebabkan campuran beraspal panas tidak awet.

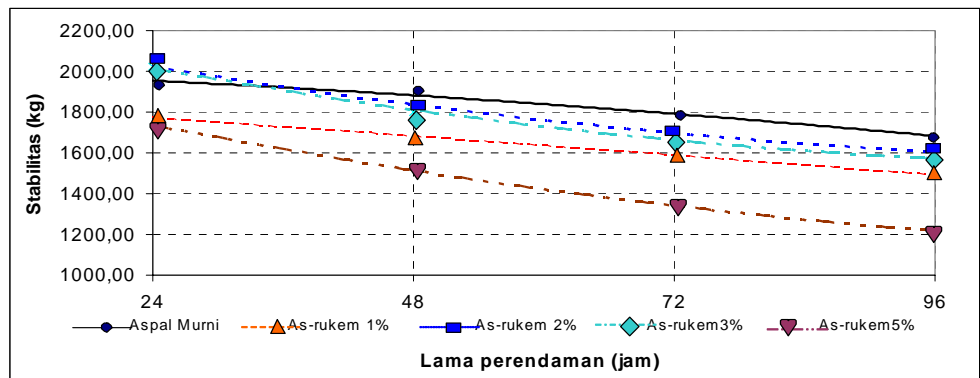


Grafik 4.24. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap VFB pada Masa Perendaman (2x400 tumbukan)

Dari hasil pengujian dapat dilihat pada Grafik 4.22. Untuk Variasi kadar Gondorukem 0 %, 1 %, 2% dan 3 % terhadap aspal nilai VFB mengalami peningkatan terhadap durasi perendaman. Nilai VFB yang besar menunjukkan agregat terselimuti aspal secara sempurna sehingga campuran akan lebih kedap air dan tidak mudah teroksidasi yang pada akhirnya akan meningkatkan durabilitas campuran.

Sedangkan variasi campuran 5 % Gondorukem terhadap aspal dengan bertambahnya lama perendaman menghasilkan nilai VFB yang menurun.

4.7.12. Hubungan Stabilitas dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 400)

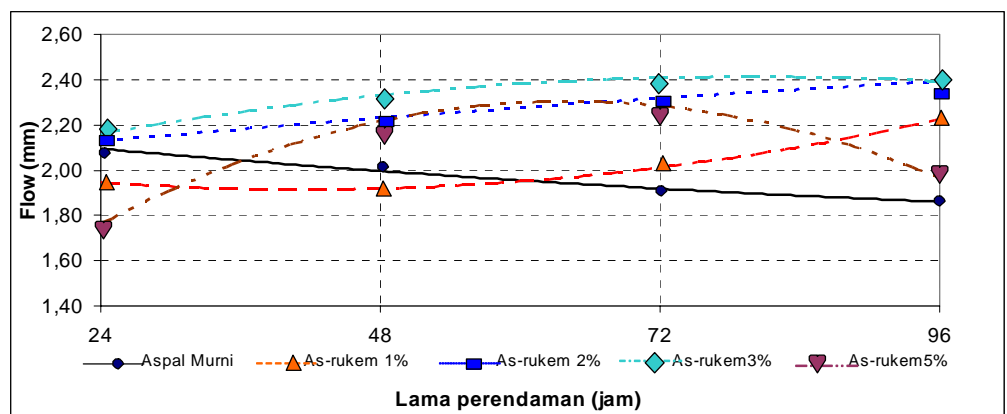


Grafik 4.25. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap Stabilitas pada Masa Perendaman (2x400 tumbukan)

Dari hasil pengujian dapat dilihat pada Grafik 4.25, variasi campuran 0 % - 5 % Gondorukem terhadap aspal dengan bertambahnya lama perendaman yaitu 24 jam – 96 jam, menghasilkan nilai stabilitas yang menurun secara keseluruhan. Nilai stabilitas pada lama perendaman 24 jam – 96 jam secara keseluruhan nilai tertinggi dicapai pada variasi campuran 3 % Gondorukem terhadap aspal karena sifat fisik campuran Gondorukem dan aspal mencapai tingkat ideal sehingga meningkatkan gesekan antar butiran (*internal friction*). Nilai terendah dicapai pada variasi campuran 1 % Gondorukem terhadap aspal karena sifat fisik campuran Gondorukem dan aspal pada kondisi tersebut tidak mengakibatkan peningkatan gesekan antar butiran (*internal friction*) akibat adanya energi pemadatan 2 x 400 tumbukan.

4.7.13. Hubungan Flow dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 400)

Kelelehan (*flow*) adalah besarnya penurunan campuran benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. *Flow* merupakan indikator kelenturan campuran beraspal panas dalam menahan beban lalu lintas. Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi bahan susun benda uji.



Grafik 4.26. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap *Flow* pada Masa Perendaman (2x400 tumbukan)

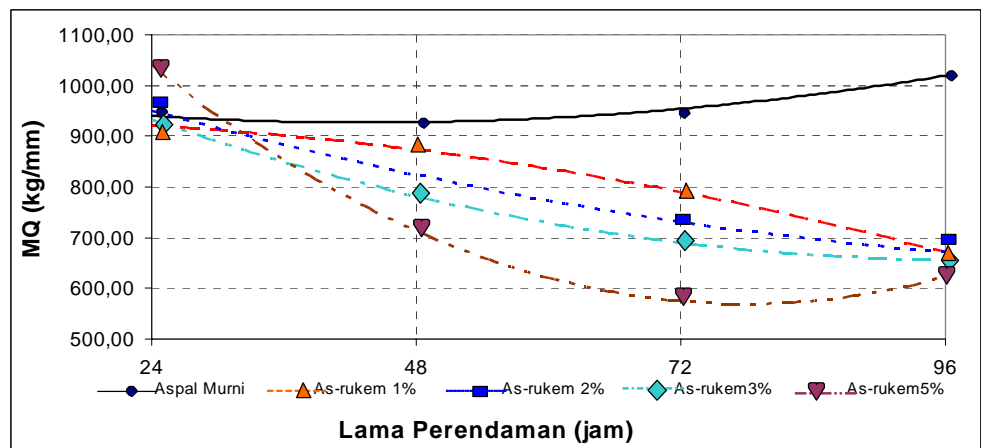
Campuran yang mempunyai angka *flow* rendah dengan stabilitas tinggi akan cenderung menghasilkan campuran beraspal panas yang kaku dan getas (*brittle*), sehingga akan mudah retak (*crack*) apabila terkena beban lalu lintas yang tinggi dan berat. Sebaliknya apabila campuran beraspal panas mempunyai *flow* terlalu tinggi maka akan bersifat plastis sehingga mudah berubah bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu lintas yang tinggi dan berat.

Dari hasil pengujian dapat dilihat pada Grafik 4.26, variasi campuran 1 % dan 5 % Gondorukem terhadap aspal dengan bertambahnya lama perendaman diperoleh nilai *flow* yang mengalami peningkatan, dengan bertambahnya lama perendaman dari 24 jam – 96 jam.

4.7.14. Hubungan MQ dengan Kadar Gondorukem Terhadap Lama Perendaman (tumbukan : 2 x 400)

MQ (*Marshall Quotient*) merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* yang mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan

fleksibilitas dari suatu campuran beraspal panas. Besarnya nilai MQ tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi oleh gesekan antar butiran dan saling mengunci antar butiran yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campuran bahan susun, serta nilai *flow* yang dipengaruhi oleh viskositas, kadar aspal, gradasi bahan susun, dan jumlah tumbukan.



Grafik 4.27. Hubungan Variasi Bahan Tambah Gondorukem terhadap MQ pada Masa Perendaman (2x400 tumbukan)

Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah, maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Sedangkan campuran yang memiliki MQ tinggi campuran beraspal panas akan kaku dan kurang lentur. Faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah gradasi bahan susun, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energi pemadatan, dan temperatur pemadatan.

Hasil pengujian hubungan MQ terhadap lama perendaman dipresentasikan pada Grafik. 4.27. Dari grafik variasi campuran 0 % Gondorukem terhadap aspal nilai MQ mengalami peningkatan. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran yang memiliki nilai MQ tinggi akan kaku dan kurang lentur.

Sedangkan variasi campuran 1 % Gondorukem terhadap aspal nilai MQ yang dihasilkan terjadi sedikit meningkat jika dibandingkan dengan menggunakan aspal murni, dan variasi 3% - 5% dengan perolehan nilai MQ yang rendah maka campuran beraspal panas akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi.

4.8. Hasil Pembahasan Pengujian Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Optimun (KAO) terhadap Sifat – Sifat *Marshall* terhadap Durasi Perendaman

a. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Optimun (KAO) pada Sifat-Sifat *Marshall* terhadap Durasi Perendaman (2x 75 tumbukan)

Pengaruh penggunaan variasi bahan tambah (As-rukem 1%, 2% 3% dan 5%) (2x75 tumbukan) pada Kadar Aspal Optimal (KAO) untuk aspal beton jenis AC-BC terhadap Berat Isi (kepadatan), VMA, VIM dan VFB, pada durasi perendaman 24, 48, 72 dan 96 jam adalah penurunan Berat Isi (kepadatan), kenaikan persentase pori diantara butir agregat (VMA) dan pori didalam campuran (VIM), akan tetapi mengalami penurunan persentase material yang terselimuti oleh aspal (VFB) atau campuran aspal beton lebih mengembang dan sifat adhesi aspal lebih melemah, jika dibandingkan dengan menggunakan aspal murni.

Sedangkan pengaruhnya terhadap nilai Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Qoutient* (MQ) adalah nilai stabilitas mengalami penurunan lebih cepat sehingga campuran lebih rapuh dalam memikul beban lalu lintas, nilai *flow* yang mengecil, dan nilai MQ lebih besar sehingga campuran aspal beton lebih kaku dan muda retak serta berkurang kelenturannya dibandingkan dengan menggunakan aspal murni.

b. Pengaruh Variasi Bahan Tambah pada Kadar Aspal Optimun (KAO) terhadap Sifat–Sifat *Marshall* terhadap Durasi Perendaman (2x400 tumbukan)

Pengaruh penggunaan variasi bahan tambah (As-rukem 1%, 2% 3% dan 5%) (2x400 tumbukan) pada Kadar Aspal Optimal (KAO) untuk aspal beton jenis AC-BC terhadap Berat Isi (kepadatan), VMA, VIM dan VFB, pada durasi perendaman 24, 48, 72 dan 96 jam adalah kenaikan Berat Isi (kepadatan), penurunan persentase pori diantara butir agregat (VMA) dan pori didalam campuran (VIM), serta kenaikan persentase material yang terselimuti oleh aspal (VFB) untuk campuran As-rukem 1%, 2% dan 3% memiliki pola perilaku hampir sama dengan menggunakan aspal murni. Sedangkan untuk campuran As-rukem 5% tidak banyak perubahan pola perilaku atau hampir sama (mendatar) untuk Berat Isi, VMA, VIM maupun VFB. Selain daripada itu jika dilihat dari batas ketentuan sifat-sifat campuran AC-BC untuk VIM sebesar minimal 2,5% kondisi *refusal*, campuran hanya As-rukem 3% yang dapat memenuhi syarat walaupun dilakukan perendaman 24 – 96 jam.

Sedangkan pengaruhnya terhadap nilai Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Qoutient* (MQ) adalah nilai stabilitas mengalami penurunan lebih cepat sehingga campuran lebih rapuh dalam memikul beban lalu lintas, nilai *flow* yang mengecil, dan nilai MQ lebih besar sehingga campuran aspal beton lebih kaku dan muda retak serta berkurang kelenturannya dibandingkan dengan menggunakan aspal murni.

Dari hasil penelitian uji durabilitas baik kondisi 2 x 75 tumbukan maupun kondisi *refusal* dapat disimpulkan bahwa bahan tambah Gondorukem mempunyai kemampuan yang lebih buruk / penurunan performanya jika dibanding dengan menggunakan aspal murni.

4.9. Durabilitas Standar

Prosedur pengujian durabilitas ini dilakukan dengan uji perendaman dilakukan pada temperatur $60 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 30 - 40 menit dan 24 jam. Masing-masing golongan terdiri dari 2 sampel yang direndam pada bak perendaman.

Dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$IRS = \left[\frac{MSi}{MSs} \right] \times 100 \%$$

keterangan:

IRS : Indeks Kekuatan Sisa (*Index Retained Strength*) (%)

MSi : Stabilitas *Marshall* setelah perendaman 24 jam suhu ruang $\pm 60^\circ\text{C}$, (kg)

MSs : Stabilitas *Marshall* standar pada perendaman selama 30-40 menit pada suhu 60°C , (kg)

Di dalam penelitian akan mencari nilai IRS tidak hanya pada untuk durabilitas standart hanya diberlakukan untuk mencari Indeks Stabilitas Sisa masa perendaman 24 jam saja.

Dari hasil penelitian didapatkan dengan IRS sebesar 93,18% masih lebih besar dari persentase inimal yang dipersyaratkan dalam spesifikasi teknis senilai 75%

4.10. Durabilitas Modifikasi

Mengembangkan parameter tunggal yang dapat menggambarkan kondisi keawetan suatu campuran beraspal panas, setelah melalui serangkaian periode perendaman tertentu. Parameter ini dinamakan Indeks Keawetan yang terdiri dari dua jenis, yaitu indeks keawetan pertama dan indeks keawetan kedua. Dalam metode ini dilakukan lama perendaman yaitu , 24, 48 dan 72 dan 96 jam, dan pada kondisi Kadar Aspal Optimum untuk setiap variasi bahan tambah.

c. Indeks Durabilitas Pertama

Indeks pertama didefinisikan sebagai jumlah kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan. Hasil pengujian. Rumus yang dipergunakan :

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - S_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \longrightarrow Si = S_0 / S_t \times 100\%$$

r adalah nilai penurunan stabilitas yang dihasilkan dari jumlah nilai persen kekuatan sisa waktu pertama dikurangi dengan nilai persen kekuatan waktu yang kedua dibagi dengan jumlah waktu kedua dikurangi dengan waktu pertama. Sedangkan persen kekuatan sisa dihasilkan dari nilai stabilitas waktu yang ditinjau dibagi dengan stabilitas awal dikalikan 100%. Hasil penelitian dipresentasikan pada Tabel 4.10. dan Table 4.11.

d. Indeks Durabilitas Kedua

Indeks kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis $S_0 = 100$ persen. Indeks keawetan kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan satu hari. Nilai positif dari (a) menunjukkan kehilangan kekuatan sedangkan nilai negatif sebagai peningkatan kekuatan. Indeks (a) ini dinyatakan sebagai berikut :

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2t_n - (t_i + t_{i+1})]$$

Persentase kekuatan sisa satu hari (S_a) sebagai berikut :

$$S_a = (100 - a)$$

Hasil penelitian Indeks Durabilitas Kedua dipresentasikan pada Tabel. 4.10 dan 4.11 dan hubungan lama rendaman terhadap kehilangan kekuatan secara keseluruhan baik dari rendaman tumbukan 2x75 maupun 2 x 400, persentase kehilangan kekuatan bahan dengan variasi bahan tambah Gondorukem lebih cepat kehilangan kekuatannya dibandingkan dengan hanya menggunakan aspal murni untuk masa perendaman 24 - 96 jam.

Tabel 4.10. Tabel Nilai Persen Kekuatan Sisa
(Tumbukan 2 x 75)

Kadar Aspal	Waktu Perendaman (jam)			
	24	48	72	96
	Stabilitas Masa Perendaman (kg)			
Aspal murni	1643	1636	1516	1473
As-rukem 1%	1511	1466	1379	1307
As-rukem 2%	1736	1619	1544	1482
As-rukem 3%	1714	1583	1450	1388
As-rukem 5%	1550	1422	1262	1234
	Nilai Persen Kekuatan Sisa (%)			
Aspal murni	100	99.5690	92.2414	89.6552
As-rukem 1%	100	96.9830	91.2566	86.4626
As-rukem 2%	100	93.2806	88.9328	85.3755
As-rukem 3%	100	92.3554	84.6247	80.9917
As-rukem 5%	100	91.7071	81.3731	79.5747
Indeks Dirabilitas Pertama	Kelandaian / r (%)			
Aspal murni	0	0.0180	0.323	0.431
As-rukem 1%	0	0.1257	0.364	0.564
As-rukem 2%	0	0.2800	0.461	0.609
As-rukem 3%	0	0.3185	0.641	0.792
As-rukem 5%	0	0.3455	0.776	0.851
Indeks Dirabilitas Kedua	Luas Kehilangan Kekuatan - a (%)			
Aspal murni	0	0.75	13.58	18.10
As-rukem 1%	0	5.28	15.30	23.69
As-rukem 2%	0	11.76	19.37	25.59
As-rukem 3%	0	13.38	26.91	33.26
As-rukem 5%	0	14.51	32.60	35.74
	Kehilangan Kekuatan / Sa (%)			
Aspal murni	100	99.25	86.42	81.90
As-rukem 1%	100	94.72	84.70	76.31
As-rukem 2%	100	88.24	80.63	74.41
As-rukem 3%	100	86.62	73.09	66.74
As-rukem 5%	100	85.49	67.40	64.26

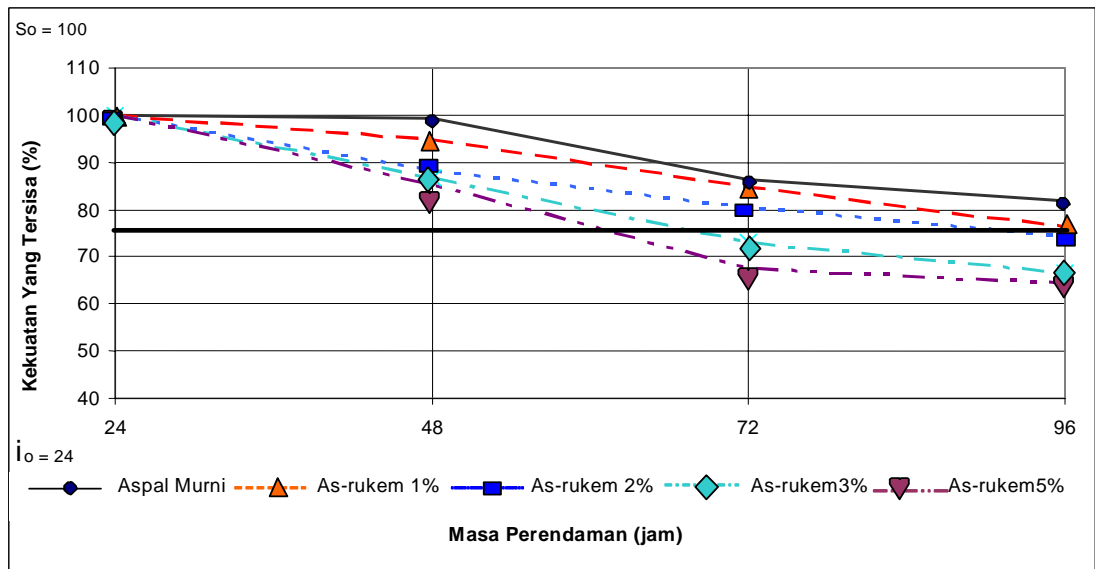
Tabel 4.11 Tabel Nilai Persen Kekuatan Sisa
(Tumbukan 2 x 400)

Kadar Aspal	Waktu Perendaman (jam)			
	24	48	72	96
	Stabilitas Masa Perendaman (kg)			
Aspal murni	1948	1903	1770	1667
As-rukem 1%	1764	1700	1566	1495
As-rukem 2%	2030	1822	1711	1601
As-rukem 3%	2021	1798	1675	1568
As-rukem 5%	1742	1498	1357	1211
	Nilai Persen Kekuatan Sisa (%)			
Aspal murni	100	97,7273	90,9091	85,6061
As-rukem 1%	100	96,3950	88,7583	84,7643
As-rukem 2%	100	89,7805	84,3146	78,8632
As-rukem 3%	100	88,9635	82,8467	77,5766
As-rukem 5%	100	85,9441	77,9001	69,5004
Indeks Dirabilitas Pertama	Kelandaian / r (%)			
Aspal murni	0	0,0947	0,379	0,600
As-rukem 1%	0	0,1502	0,468	0,635
As-rukem 2%	0	0,4258	0,654	0,881
As-rukem 3%	0	0,4599	0,715	0,934
As-rukem 5%	0	0,5857	0,921	1,271
Indeks Dirabilitas Kedua	Luas Kehilangan Kekuatan - a (%)			
Aspal murni	0	3,98	15,91	25,19
As-rukem 1%	0	6,31	19,67	26,66
As-rukem 2%	0	17,88	27,45	36,99
As-rukem 3%	0	19,31	30,02	39,24
As-rukem 5%	0	24,60	38,67	53,37
	Kehilangan Kekuatan / Sa (%)			
Aspal murni	100	96,02	84,09	74,81
As-rukem 1%	100	93,69	80,33	73,34
As-rukem 2%	100	82,12	72,55	63,01
As-rukem 3%	100	80,69	69,98	60,76
As-rukem 5%	100	75,40	61,33	46,63

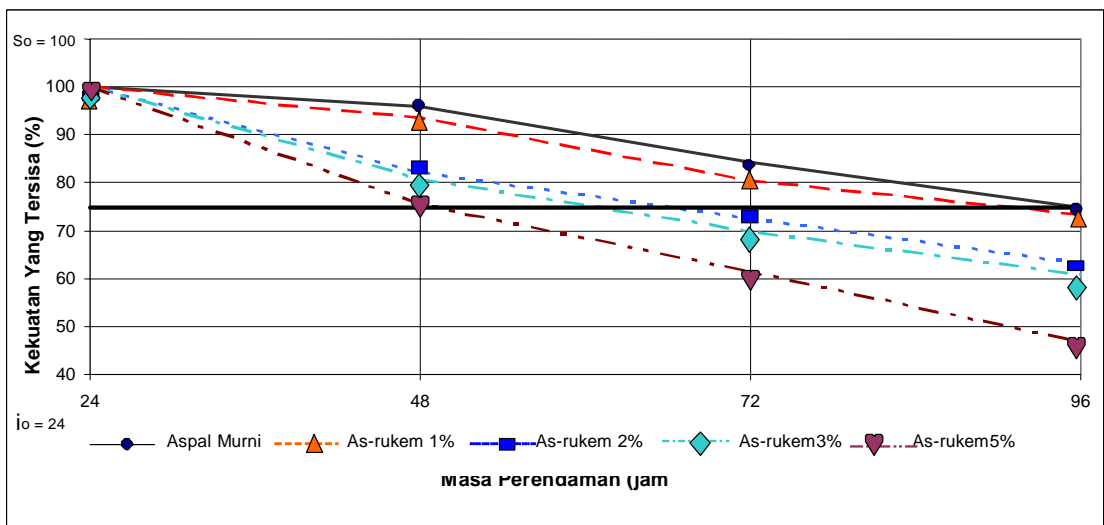
Dari perhitungan baik dari Indeks Durabilitas Pertama dan Durabilitas Kedua terjadi penurunan kekuatan sisa yang makin besar seiring dengan

penambahan persentase bahan tambah Gondorukem. Sisa kekuatan yang bisa diterima adalah nilai $> 75\%$ sesuai dengan spesifikasi yang diasumsikan dengan persentase kehilangan kekuatan. Untuk campuran aspal beton AC-BC dengan Kadar Aspal Optimum pada durasi perendaman 96 jam tumbukan 2 x 75 kerusakan terjadi pada variasi As-rukem 1%, 2%, 3% dan 5%. Pada campuran aspal beton kondisi *refusal* pada durasi perendaman 96 jam semua campuran aspal beton sudah mengalami kerusakan.

Grafik. 4.28 Skema Kurva Keawetan 2 x 75 tumbukan



Grafik. 4.29 Skema Kurva Keawetan 2 x 400 tumbukan



Dari perhitungan dapat dilihat pada Skema Kurva Keawetan pada Grafik 4.28 dan Grafik 4.19 menggambarkan bahwa dengan penambahan Gondoruken pada aspal menyebabkan percepatan kerusakan campuran aspal beton jika direndam didalam air.