

PENGUNAAN MIKRO ASBUTON SEBAGAI BAHANPENGIGSI (FILLER) TERHADAP DURABILITAS CAMPURAN HOT ROLLED ASPHALT(HRA)

Lucia Lalamentik

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Hot Rolled Asphalt (HRA) adalah campuran aspal yang mempunyai sifat elastis yang tinggi dan mengandung lebih banyak agregat halus lebih banyak dibanding campuran aspal yang lain sehingga bahan pengisi (filler) sangat menentukan kekuatan campuran. Mikro asbuton, yaitu asbuton yang telah diproses menjadi bubuk halus dan kering yang sebagian besar lolos saringan No. 200, sehingga secara teori partikel yang lolos ini dapat digunakan sebagai filler.

Ada empat parameter yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum, yaitu stabilitas, kepadatan campuran (S_m), kepadatan bahan agregat yang dipadatkan (S_A), dan kelelahan. Rata-rata nilai maksimum dari ketiga kriteria pertama inilah yang dinamakan kadar aspal optimum.

Campuran dengan menggunakan filler mikro asbuton mempunyai indeks kekuatan sisa (82,3%) yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran dengan filler semen (76,7%) mengingat bahwa salah satu komponen penyusun asbuton adalah kapur yang secara fisik memungkinkan untuk bereaksi dengan bahan aspal, sehingga makin lama umur campuran akan makin tinggi kekuatannya.

Filler yang merupakan salah satu komponen dalam campuran HRA dapat diganti dengan bahan lain yang bergradasi serupa namun dengan tingkat kemudahan untuk didapatkan di lapangan yang lebih tinggi. Mikro asbuton dapat digunakan sebagai filler dalam campuran HRA karena dari hasil pengujian terhadap kriteria dasar campuran didapat hasil yang memenuhi persyaratan, bahkan hasil pengujian yang didapat tidak terlalu jauh bila dibandingkan dengan hasil yang dicapai campuran dengan filler semen. Campuran dengan filler mikro asbuton memiliki potensi durabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan campuran dengan filler semen. Hal ini didasarkan pada hasil pengujian perendaman standar Marshall dan pengujian perendaman modifikasi Marshall.

Kata Kunci: Mikro Asbuton, Hot Rolled Asphalt (HRA), filler, potensi durabilitas

PENDAHULUAN

Hot Rolled Asphalt (HRA) adalah suatu campuran aspal dengan agregat seperti halnya campuran aspal beton pada umumnya namun mempunyai kelebihan khusus yaitu sifat elastis yang lebih tinggi dibanding dengan campuran aspal lainnya. Berbeda dengan campuran aspal beton dimana kekuatan atau stabilitasnya bergantung kepada saling kunci diantara susunan agregatnya (interlocking), maka pada campuran HRA, stabilitasnya bergantung kepada kekuatan campuran mortar yang ada yang merupakan suatu campuran antara agregat halus, filler dan aspal. HRA merupakan suatu campuran yang lebih banyak mengandung material halus, yang akan memerlukan suatu kadar aspal yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal lain yang memiliki kadar material halus lebih rendah. Disini jelas terlihat bahwa material halus khususnya filler sangat menentukan kekuatan

campuran HRA, sehingga pemakaian akan filler yang tepat akan sangat bermanfaat.

Filler yang normal digunakan dalam campuran HRA adalah semen, tetapi semen terkadang sulit didapat dan harganya pun relatif mahal. Beberapa jenis material filler alternatif telah dicoba sebagai pengganti bahan filler konvensional, seperti bahan kapur bangunan dan lanau sungai, juga dicoba bahan abu terbang (fly ash) yang merupakan bahan buangan atau limbah padat dari pembangkit tenaga listrik.

Dalam penelitian ini material yang akan dicoba sebagai filler adalah mikro asbuton, yaitu asbuton yang telah diproses menjadi bubuk halus dan kering yang sebagian besar lolos saringan No. 200, sehingga secara teori partikel yang lolos ini dapat digunakan sebagai filler pada campuran aspal panas (hot mix). Pemilihan mikro asbuton sendiri dinilai tepat karena asbuton merupakan potensi dalam negeri dengan perkiraan cadangan lebih dari 160 juta ton, namun perkembangan

teknologinya belum diminati secara luas dalam pembangunan jalan. Sebagai perbandingan digunakan komposisi campuran yang sama dengan semen sebagai filler.

Untuk mengetahui apakah penggunaan mikro asbuton sebagai filler untuk campuran HRA dapat memenuhi syarat teknis, dalam artian bahwa material tersebut mendukung kinerja yang dikehendaki, maka dalam penelitian ini dilakukan pengujian Marshall untuk mengetahui karakteristik dasar campuran yang meliputi stabilitas, kelelahan, Marshall Quotient, persentase rongga dalam campuran (voids in the mix, VM), rongga dalam agregat (voids in the mineral aggregate, V₄) dan rongga terisi aspal (voids filled with binder, VB). Juga dilakukan pengujian perendaman standar Marshall (perendaman I hari pada suhu 60°C) untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap pengaruh air.

Selanjutnya potensi durabilitas dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai kemampuan campuran untuk menahan pengaruh pengrusakan yang diakibatkan oleh air dan suhu secara terus-menerus (Craus et al, 1981). Untuk mengetahui potensi durabilitas campuran maka dilakukan pengujian perendaman modifikasi Marshall dengan menerapkan pengujian perendaman campuran pada suhu ruang dengan variasi lama perendaman 0, 1, 4, 7, 14, 21 dan 28 hari. Dari pengujian ini akan didapat indeks durabilitas pertama (first durability index) dan indeks durabilitas kedua (second durability index) yang secara praktis keduanya menyatakan persen kehilangan kekuatan yang dibobotkan pada satu hari.

LANDASAN TEORI

Campurab Hot Rolled Asphalt (HRA)

Campuran HRA adalah merupakan suatu campuran aspal dengan agregat yang biasa dipakai sebagai bahan lapis permukaan suatu konstruksi jalan raya. HRA berasal dari negara Inggris dan campuran tersebut merupakan kumpulan yang disusun dari berbagai pengalaman di lapangan dan telah disusun menjadi suatu resep tertentu dalam pemakaiannya sebagai bahan perkerasan jalan. Gradasi agregat yang dipakai dalam campuran HRA adalah gradasi senjang (gap graded). Dalam campuran gradasi senjang, agregat kasar hanyalah sebagai material pengisi saja sedangkan

tulang punggung kekuatan dalam menahan beban adalah bergantung kepada kekuatan mortar saja yaitu campuran aspal dan agregat halus serta mineral filler. Oleh karena itu dalam pemilihan jenis aspal juga dipilih sedemikian rupa sehingga campuran mortar yang terbentuk akan cukup mampu menahan beban. sehingga membuat campuran beraspal ini lebih ekonomis. Komposisi gradasi senjang ini juga yang membuat HRA sebagai lapisan permukaan mempunyai sifat yang tahan terhadap cuaca, membuat permukaan jalan awet, dan dapat mengakomodasi beban lalu lintas tanpa menimbulkan retak.

Komposisi campuran HRA terdiri dari berbagai ukuran dan jenis agregat, sehingga dalam penelitian ini digunakan agregat kasar dan halus yang sama untuk semua jenis campuran hanya filler-nya saja yang divariasikan jenisnya dimana akan terdiri dari filler semen dan mikro asbuton.

Campuran HRA yang digunakan pada lapisan permukaan jalan mempunyai dua campuran desain, yaitu tipe F dan tipe C. Campuran tipe F berarti bahwa campuran tersebut umumnya banyak menggunakan material halus, sementara tipe C umumnya banyak menggunakan agregat kasar (BS 594:Bagian 1:1985). Sebagai agregat halus digunakan material yang lolos saringan dengan ukuran 2,36 mm. Untuk campuran HRA tipe F, fraksi agregat diperbolehkan memiliki agregat yang tertahan di saringan ukuran 2,36 mm tidak lebih dari 5% dari berat total agregat, sedangkan material yang lolos saringan ukuran 75 µm tidak lebih dari 8% berat total agregat. Sedang untuk campuran tipe C, agregat halus diperbolehkan memiliki agregat yang tertahan di saringan ukuran 2,36 mm tidak lebih dari 10% berat total agregat, sedang material halus yang lolos saringan dengan ukuran 75 µm tidak lebih dari 17% dari berat total agregat. Dalam penelitian ini digunakan komposisi agregat tipe C yang memiliki tipe desain 40/20 dan ketebalan nominal lapisan 50 mm, dengan komposisi agregat seperti terlihat pada Tabel 1.

Filler adalah suatu material agregat dari fraksi halus yang sebagian besar ($\pm 85\%$) lolos saringan No. 200 (ukuran 75 µm) dan mempunyai berat jenis sekurang-kurangnya 0,5 gram/cm³ dan tidak lebih dari 0,9 gram/cm³. Dalam campuran HRA, filler bersama-sama, dengan aspal membentuk material pasta dan berperan sebagai pelumas serta mengikat pasir

untuk membentuk bahan mortar. Selain itu juga berperan sebagai pengisi rongga udara sehingga meningkatkan kepadatan dan ketahanan campuran serta meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran. Dalam penelitian ini digunakan filler sebanyak 8% dari berat total agregat.

Tabel 1. Komposisi Desain HRA Tipe C, Designation 40/20, dan Ketebalan Nominal Lapisan 50 mm

Ukuran Saringan	Persen Lolos
20 mm	100
14 mm	95-100
10 mm	-
6,3 mm	-
2,36 mm	50-62
600 µm	20 - 40
212µm	10-25
75µm	6-10

Sumber: BS 594:Bagian 1:1985

Tabel 2. Sifat-Sifat Teknis Agregat dan Filler

Parameter	Agregat		Filler	
	Kasar	Halus	semen	mikro asbuton
Berat Jenis Bulk	2,51	2,52		
Berat Jenis SSD	2,58	2,59		
Berat Jenis Apparent	2,69	2,70	3,147	1,990
Penyerapan Air (%)	2,76	2,62		

Aspal Buton (Asbuton) yang dahulu dikenal dengan nama BUTAS adalah aspal alam yang berbentuk batuan (*rock asphalt*), terdiri dari campuran batu kapur, pasir dan aspal (1540%), terdapat di Pulau Buton Sulawesi Tenggara dengan perkiraan cadangan lebih dari 160 juta ton dan sudah dikenal sejak 1926. Saat ini asbuton telah mengalami diversifikasi produk yang tadinya terbatas pada Asbuton Konvensional (Asbuton Kasar), sekarang telah meluas ke-4 jenis *Mikro Asbuton*, *Butonic Mastic Asphalt* (BMA), *Asbuton Modifier* dan produk sampingan lainnya.

Mikro Asbuton adalah Asbuton yang telah diproses menjadi bubuk halus dan kering yang sebagian besar lolos saringan No. 200, sehingga secara teori partikel yang lolos ini dapat digunakan sebagai filler pada campuran aspal panas (*hot mix*). Mikro asbuton memiliki kadar bitumen yang seragam (homogen) dan yang diproduksi adalah jenis B-20, B-21, B-27.5 dan B-30. Klasifikasi ini disesuaikan dengan kadar bitumen yang dikandung. Dalam penelitian ini digunakan mikro asbuton jenis B-21 sebagai

filler.

Untuk campuran jenis HRA maka jenis aspal yang biasa dipakai berkisar antara PEN 65 sampai 70. Penentuan derajat penetrasi ini sangat tergantung pada lokasi, kondisi dan beban lalu lintas jalan yang dibangun. Sebagai bahan pengikat (*binder*) digunakan aspal yang berasal dari Pertamina Cilacap yaitu aspal dari jenis aspal keras/panas dengan ukuran penetrasi yang sudah biasa dipakai di Indonesia untuk jenis campuran HRA yaitu penetrasi 60/70.

Tabel 3. Karakteristik Aspal PEN 60/70

Sifat-Sifat Teknis	Satuan	Nilai
Penetrasi (25°C, 5 detik, 100 gram)	0,1 mm	74,2
Titik Lembek	°C	49
Berat Jenis		1,032

PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA

Kadar Aspal Optimum

Persiapan, analisis dan pengujian benda uji disesuaikan dengan British Standards. Untuk mendapatkan kadar aspal optimum, tiga benda uji disiapkan untuk campuran lima kadar aspal. Kadar aspal divariasikan dari 5% sampai 9% dari total berat campuran HRA dengan penambahan 1%. Ada empat parameter yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum, yaitu stabilitas, kepadatan campuran (Sm), kepadatan bahan agregat yang dipadatkan (SA), dan kelelahan. Rata-rata nilai maksimum dari ketiga kriteria pertama inilah yang dinamakan kadar aspal optimum.

Kadar aspal optimum untuk campuran HRA dengan filler semen adalah 7,4% (rata-rata dari 7,7%, 7,2% dan 7,3%). Dari kadar aspal optimum ini kemudian dapat ditentukan kadar aspal desain, biasanya dengan cara menambahkan 0,7% untuk campuran yang mengandung agregat kasar sebesar 40% dari berat total campuran, sehingga kadar aspal desain untuk campuran HRA dengan filler semen adalah 8,1 % (BS 598:Part 3: 1985). Kelelahan pada kadar aspal desain berdasarkan grafik adalah 5,18 mm dan kelelahan pada kadar aspal desain ini sebaiknya tidak melebihi nilai yang diberikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Kriteria Desain untuk Campuran HRA

Arus Lalu Lintas, Kend. Komersial 1 lajur / hari	Spesifikasi Marshall		
	Stabilitas		Kelelahan Maksimum, mm
		kg	
Kurang dari 1500	2-8	203,94 - 815,77	5
1500 -6000	4-8	407,89 - 815,77	5
Lebih dari 6000	6- 10	611,83- 1019,72	5 atau 7*)

Sumber: BS 594:1985

Untuk stabilitas sampai dengan 8 kN, kelelahan maksimum adalah 5 mm. Untuk stabilitas lebih besar dan 8 kN, kelelahan maksimum adalah 7 mm.

Kadar aspal optimum untuk campuran HRA dengan filler mikro asbuton adalah 6,2% (rata-rata dari 7,2%, 5,8% dan 5,6%) dan dengan cara yang sama dengan perhitungan sebelumnya didapatkan nilai kelelahan pada kadar aspal desain adalah 5,28 mm.

Kriteria Dasar Campuran

Hubungan antara Marshall Qoutient (MQ), persentase Rongga dalam Campuran (voids in the mix, VM), Rongga dalam Agregat (voids in the mineral aggregate, VA) dan Rongga Terisi Aspal. (voids filled with binder, VB) dengan variasi kadar aspal. Besarnya nilai MQ, VM, VA dan VB secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Sifat-Sifat Teknis Campuran pada Kadar Aspal Optimum

Parameter	HRA filler semen	HRA filler mikro asbuton
Kadar Aspal Optimum (%)	7,4	6,2
Stabilitas (kg)	1304,6	1236,1
Kelelahan (mm)	4,08	4,38
Marshall Quotient, MQ (kg/mm)	320,7	287,7
Rongga dalam Campuran, VM (%)	3,39	3,83
Rongga dalam Agregat, VA (%)	19,99	17,50
Rongga Terisi Aspal, VB (%)	82,45	78,31

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menahan beban sampai terjadi kelelahan plastis. Dari kedua jenis campuran yang diteliti ternyata stabilitas campuran dengan filler semen (1304,6 kg) masih lebih besar dibandingkan dengan campuran dengan filler mikro asbuton (1236,1) akan tetapi kedua jenis campuran masih cocok untuk lalu lintas berat seperti yang disyaratkan oleh Bina Marga minimum 750 kg.

Kelelahan merupakan perubahan bentuk yang terjadi dari campuran aspal akibat beban sampai batas waktu yang ditentukan dalam milimeter. Untuk rongga dalam campuran, campuran dengan filler semen memiliki nilai kelelahan yang lebih kecil (4,08) dibandingkan dengan campuran dengan filler mikro asbuton (4,38 mm) dan nilai ini memenuhi kriteria perencanaan campuran. Nilai MQ campuran dengan filler semen (320,7 kg/mm) masih lebih besar dibandingkan dengan nilai MQ campuran dengan filler mikro asbuton (287,7 kg/mm). Nilai MQ ini menunjukkan besar kekakuan yang dicapai campuran.

Dari kedua jenis campuran, ternyata campuran dengan filler mikro asbuton memiliki kadar rongga dalam campuran (Vm) yang lebih kecil (3,39%) dibandingkan dengan campuran dengan filler semen (3,83%). Ini artinya filler mikro asbuton lebih mampu mengisi rongga dalam campuran untuk berat yang sama. Kekuatan campuran khususnya durabilitas sangat tergantung pada nilai VM yang dipunyainya. Karena makin kecil nilai VM yang dicapai, maka makin kedap campuran yang bersangkutan terhadap air. Sedang makin kedap suatu campuran, maka makin meningkatkan kekuatan campuran karena campuran tersebut terhindar dari stripping (peristiwa pemisahan agregat terhadap ikatan aspal).

Nilai VA yang diinginkan dalam suatu campuran adalah seminimum mungkin.

Rongga Terisi Aspal (VB) adalah persentase rongga antar partikel agregat yang terisi oleh aspal, atau dengan kata lain kadar aspal efektif diluar kadar aspal yang diserap agregat. Pengaruh utama dari kriteria VB adalah untuk membatasi tingkat maksimum dari VA, dan secara bersamaan membatasi tingkat maksimum dari kadar aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran dengan filler semen memiliki nilai VB (82,45%) sedikit lebih besar dari nilai VB campuran dengan filler mikro asbuton (78,31 %).

Perendaman Standar Marshall

Untuk mengetahui tingkat durabilitas dipakai tes yang merupakan bagian dari Uji Marshall yaitu tes perendaman (*immersion test*) dimana dilakukan dengan merendam semua benda uji di dalam air dengan tinggi suhu tertentu selama selang waktu tertentu pula (60°C selama 24 jam). Setelah itu dilakukan tes stabilitas dan *flow* kembali dengan menggunakan alat Marshall dan membandingkan hasil ini dengan tes yang sama namun suhu dan lama perendaman standar (60°C selama 30 menit).

Hasil dari tes ini adalah persentase sisa kekuatan sebelum dan setelah menjalani tes durabilitas. Adapun persyaratan yang diminta adalah suatu nilai yang lebih besar dari 75%.

Campuran dengan menggunakan filler mikro asbuton mempunyai indeks kekuatan sisa (82,3%) yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran dengan filler semen (76,7%) mengingat bahwa salah satu komponen penyusun asbuton adalah kapur yang secara fisik memungkinkan untuk bereaksi dengan bahan aspal, sehingga makin lama umur campuran akan makin tinggi kekuatannya.

Perendaman Modifikasi Marshall

Untuk mengetahui potensi durabilitas campuran dalam jangka waktu yang lebih lama dan terus menerus maka dilakukan pengujian perendaman modifikasi Marshall dengan menerapkan pengujian perendaman campuran pada suhu ruang dan variasi lama perendaman 0, 1, 4, 7, 14, 21 dan 28 hari. Kekuatan campuran setelah perendaman diplot dalam sebuah grafik. Dari grafik ini akan dapat dihitung indeks durabilitas pertama (*first durability index*) dan indeks durabilitas kedua (*second durability index*) campuran.

Indeks durabilitas pertama didefinisikan sebagai penjumlahan kemiringan garis yang berturutan dari suatu kurva durabilitas.

$$Z-I, S_i - S_{i+1} r_{-} - I - v_{t+1} I - t_i$$

S_i/A = persentase kekuatan sisa pada waktu t_i

S_{i+1}/A = persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} ; t_{i+1} = periode perendaman.

Biasanya indeks durabilitas pertama menggambarkan persentase kehilangan kekuatan yang dibobotkan untuk pengujian satu hari. Nilai r yang positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatifnya mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

Dalam kasus dimana campuran hancur kurang dari satu hari, nilai r dapat lebih besar dari 100 persen.

Indeks durabilitas kedua didefinisikan sebagai rata-rata luas daerah kehilangan kekuatan yang terletak antara kurva durabilitas dan garis $s_o = 100$

Dapat dicatat bahwa peningkatan luas a ; didefinisikan secara horizontal dikarenakan pembagian ke arah horizontal ini menggambarkan kontribusi relatif dari peningkatan periode perendaman terhadap total kehilangan kekuatan. Oleh karena itu, bobot relatif dari peningkatan di periode-periode awal umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan periode-periode berikutnya.

Indeks durabilitas kedua juga menggambarkan suatu ekivalensi kehilangan kekuatan satu hari. Nilai positif dari a juga mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif mengindikasikan perolehan kekuatan. Berdasarkan definisi ini, $a < 100$. Oleh karena

itu, dimungkinkan untuk menyatakan persentase ekivalensi kekuatan sisa satu hari (s_{1h}) sebagai berikut:

$$s_{1h} = (100 - a)$$

dimungkinkan juga untuk mendefinisikan indeks durabilitas kedua dalam bentuk nilai absolut dari ekivalensi kehilangan kekuatan atau kekuatan sisanya (A dan S_a) sebagai berikut:

$$A = 100 S^{\circ}$$

$$a = -E a t = 1 E (S_i - S_{i+1}) [2t_i - (t_i + t_{i+1})]$$

$$t_i, i=1 \quad Z t_i, i=0$$

dan

$$S_a = S_o - A$$

Kekuatan sisa berkurang seiring dengan bertambahnya waktu perendaman. Dapat dilihat juga bahwa campuran dengan filler mikro asbuton memiliki keunggulan jika ditinjau dari indeks durabilitas pertama maupun indeks durabilitas kedua dibandingkan dengan campuran dengan filler semen. Keunggulan ini berupa kecilnya persen kehilangan kekuatan yang dialami oleh campuran dengan filler mikro asbuton.

KESIMPULAN

Dari data dan hasil diskusi yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Filler yang merupakan salah satu komponen

- dalam campuran HRA dapat diganti dengan bahan lain yang bergradasi serupa namun dengan tingkat kemudahan untuk didapatkan di lapangan yang lebih tinggi.
2. Mikro asbuton dapat digunakan sebagai filler dalam campuran HRA karena dari hasil pengujian terhadap kriteria dasar campuran didapat hasil yang memenuhi persyaratan, bahkan hasil pengujian yang didapat tidak terlalu jauh bila dibandingkan dengan hasil yang dicapai campuran dengan filler semen.
 3. Campuran dengan filler mikro asbuton memiliki potensi durabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan campuran dengan filler semen. Hal ini didasarkan pada hasil pengujian perendaman standar Marshall dan pengujian perendaman modifikasi Marshall.

DAFTAR PUSTAKA

1. British Standards Institution, 1985, BS 594 Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas Part 1. Specification for Constituent Materials and Asphalt Mixtures, London
2. British Standards Institution, 1985, BS 598 Sampling and Examination of Bituminous Mixtures for Roads and Other Paved Areas Part 3. Methods for Design and Physical Testing, London
3. Craus, J., Ishai, I., and Sides, A., 1981, Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Type and Properties, Proceeding of the Association of Asphalt Paving Technologies, Vol. 50, pp. 291-318
4. Kusmawan, R., 1999, Pengaruh Jenis Bahan Pengisi (Filler) dan Gradasi Agregat Terhadap Durabilitas Stone Mastic Asphalt, Thesis Magister, Program STJR-ITB, Bandung
5. Laboratorium Rekayasa Jalan, 2000, Modul Praktikum Bahan Perkerasan Jalan, Institut Teknologi Bandung
6. Setiadji, B.H., 2000, Pengembangan Pengujian Penguapan Pengembunan Berulang untuk Menilai Durabilitas Campuran Beraspal, Thesis Magister, Program STJR-ITB, Bandung
7. Shell Bitumen, 1990, The Shell Bitumen Handbook, NottinghamSiswosoebrotho, B.I., Pengaruh Jenis Filler pada Sifat Campuran Hot Rolled Asphalt
1. Wenan, A.H., 1994, Pengaruh Jenis Filler pada Sifat Campuran Hot Rolled Asphalt, Thesis Magister, Program STJR-ITB, Bandung