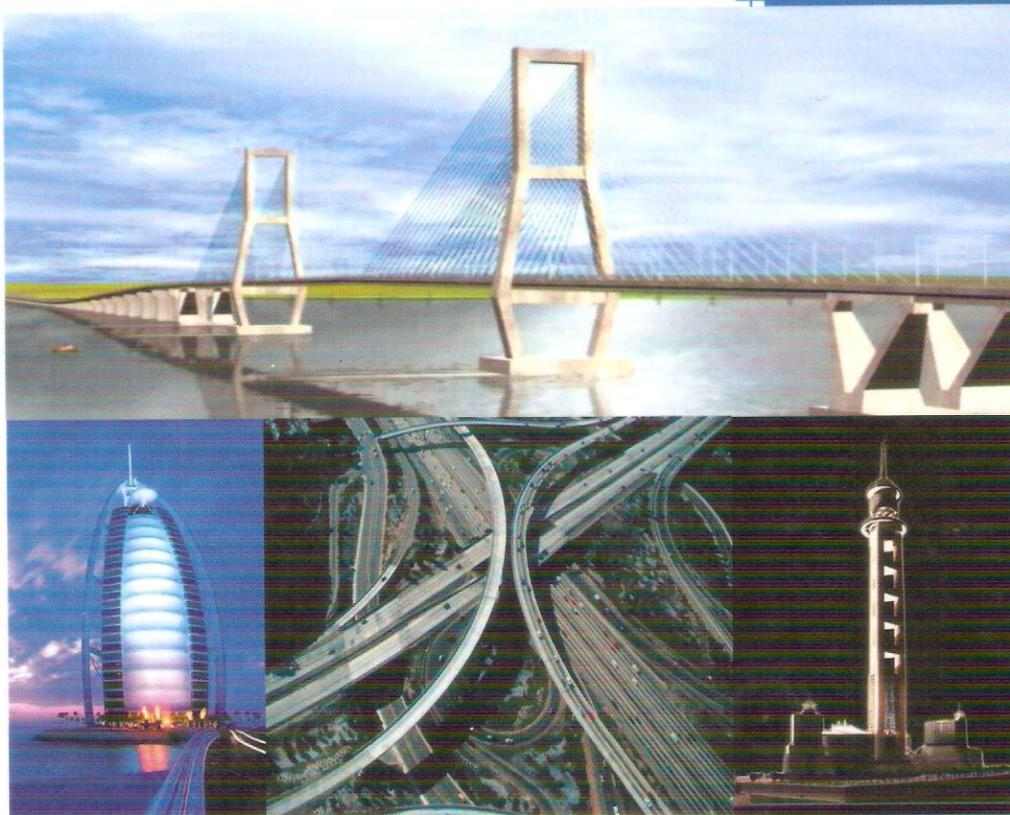


2

PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR

DALAM MENUNJANG
PEMBANGUNAN EKONOMI NASIONAL

Volume II



WKA BETON



adhi
beyond construction



Suara
Surabaya
FM 100



GEOSISTEM

PROGRAM STUDI PASCASARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
ITS SURABAYA

Surabaya, 27 Januari 2010



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL TEKNIK SIPIL
VI-2010

ISBN 978 - 979 - 99327 - 5 - 4

PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR
DALAM MENUNJANG PEMBANGUNAN
EKONOMI NASIONAL

Volume II

PROGRAM STUDI PASCASARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA



Sertifikat

Seminar Nasional Teknik Sipil VIII - 2012

**“Pembangunan Berkelanjutan
Transportasi dan Infrastruktur”**

Diberikan kepada:

Anis Sagdaff

sebagai:

Pemakalah

Yang diselenggarakan oleh Program Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil ITS,
di Ruang Sidang Jurusan Teknik Sipil ITS, Kampus ITS Sukolilo Jalan Arif Rahman Hakim Surabaya 60111

Surabaya, 2 Februari 2012

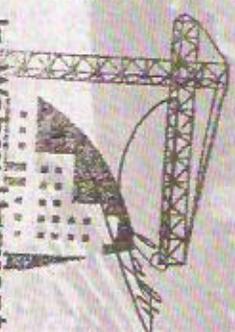
Ketua Jurusan Teknik Sipil ITS,



Budi Suswanto, ST, MT, PhD

NIP. 197301281998021002

Ketua Panitia,



Ir. Wahyu Herjanto, MT.

NIP. 196209061989021001

PENGGUNAAN SERBUK BATU LIMBAH TAILING SEBAGAI FILLER PERKERASAN HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE (HRC-WC)

Anis Saggaff¹, Yayuk Apriyanti², dan Rozali²

¹*PhD Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang, Telp 0711-580139, email: anissaggaff@yahoo.com*

²*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung, Pangka Pinang, Telp 0711-580139, email: yayuk@ubb.ac.id*

ABSTRAK: Kepulauan Bangka Belitung sejak dulu dikenal sebagai daerah penghasil timah yang menjadi komoditi andalan daerah ini. Didalam proses penggalian, selain menghasilkan mineral timah, juga menghasilkan limbah yang disebut tailing. Limbah ini jumlahnya tidak sedikit dan belum dimanfa'takan secara optimal dipulau bangka. Pemanfa'tan limbah tailing ini dapat digunakan untuk bahan pencampur perkerasan pada jalan raya baik sebagai agregat/batu pecah maupun sebagai filler. Untuk penggunaan sebagai filler maka limbah tailing ini diolah terlebih dahulu menjadi serbuk. Sa'at ini penggunaan filler masih menitik beratkan pada penggunaan filler debu batu yang harganya relative lebih mahal dan persediaannya semakin menipis serta sulit didapatkan khususnya di Bangka Belitung.

Pada penelitian ini serbuk batu limbah tambang tailing yang digunakan adalah serbuk yang dihasilkan dari pengolahan batu tailing (batu gamping non klasik lunak) yang berasal dari desa Mapur, Kecamatan Riau Silip, Kabupaten Bangka. Potensi batu tailing sangat banyak dan pemanfaatannya belum optimal, sehingga dicoba untuk memanfaatkan serbuk batu tailing tersebut sebagai filler pengganti pada campuran HRS-WC. Filler merupakan salah satu bahan susun dari campuran HRS-WC mempunyai peranan penting dalam menentukan karakteristik campuran.

Penelitian mengenai pemanfaatan filler dilakukan di laboratorium dengan metode pengujian Marshall mengacu pada persyaratan sesuai spesifikasi Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum (2002).

Dalam Proses laboratorium, serbuk batu tailing harus lolos saringan No. 200 (=0,075 mm) kemudian ditimbang berdasarkan volumetric terhadap filler debu batu. Variasi kadar filler serbuk batu tailing yang digunakan 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, atau setara kadar filler debu batu 8%, 9%, 10%, 11%, 12%. Variasi kadar aspal yang digunakan 6,5%, 7%, 8,0%, 8,5%. Penelitian dilakukan dengan pengujian Marshall untuk mengkaji nilai-nilai density, VMA, VITM, VFWA, stabilitas, Flow, dan Marshall Quotient dari campuran HRS-WC terhadap variasi kadar aspal dan filler. Dari nilai karakteristik Marshall tersebut dapat ditentukan kadar aspal optimum.

Dari hasil test Marshall yang dilakukan dilaboratorium didapatkan pada penggunaan serbuk batu tailing 8% didapati kondisi density naik untuk semua pencampuran asphalt. Nilai VMA naik pada pencampuran serbuk tailing 6% dan 7% untuk kadar asphalt 6.5% sampai dengan 7%. Nilai VMA pada tailing 6% dan 7% mengalami kenaikan pada kadar asphalt 7.5%. Nilai VFB naik pada pencampuran tailing 6% dan 8%. Kadar Asphalt Optimum(KAO)terbaik didapat pada kadar serbuk batu tailing 6% dengan kadar asphalt optimum 7.30 % dan rentang kadar asphalt 0.94%, sedangkan untuk filler biasa terjadi juga pada kadar filler 6% dengan kadar asphalt optimum 7.10 % dan rentang kadar asphalt 1.00%.

Kata kunci: Serbuk Batu Limbah Tailing, Filler Perkrasan, Hot Rolled Sheet - Wearing Course.

1. PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan prasarana transportasi darat yang sangat dibutuhkan dalam menunjang berbagai kegiatan terutama kegiatan ekonomi, sehingga sangat diharapkan kondisi jalan tersebut memiliki keawetan sesuai umur rencana yang dapat memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan. Meningkatnya aktivitas manusia dan taraf hidup perekonomian berdampak pada peningkatan pertumbuhan lalu lintas, baik jumlahnya maupun daya angkutnya. Peningkatan pertumbuhan lalu lintas ini menyebabkan umur pelayanan jalan menjadi semakin pendek dikarenakan beban lalu lintas yang terjadi lebih besar dari beban lalu lintas yang direncanakan. Besarnya beban lalu lintas mengakibatkan permukaan jalan menjadi aus, kehilangan kekesatannya, mengalami deformasi minor atau menyebabkan permukaan tidak rata, sehingga memerlukan suatu perbaikan dan pemeliharaan.

Untuk dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu dan umur rencana, menambah masa pelayanan jalan, serta meningkatkan kenyamanan, maka dilakukanlah pelapisan tambahan (*overlay*) yang bersifat nonstruktural yang berfungsi sebagai lapis penutup atau lapis aus (*wearing course*), yang digunakan untuk pemeliharaan jalan. Lapis aus adalah lapisan perkerasan yang memberikan suatu permukaan yang rata, menahan gaya geser dari beban roda karena berhubungan langsung dengan roda kendaraan, merupakan lapis kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang baik.

Teknologi perkerasan yang populer digunakan sebagai lapis penutup atau lapis aus adalah *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) yaitu lapis permukaan sebagai lapis penutup yang terdiri dari campuran agregat bergradasi timpang (*gap graded*), *filler*, dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas (*hot mix*) dengan tebal nominal minimum 3 cm. Hal ini disebabkan karena campuran HRS-WC merupakan campuran agregat-aspal yang mempunyai karakteristik dengan durabilitas dan fleksibilitas tinggi.

1.4. Latar belakang

Bangka Belitung merupakan penghasil timah terbesar di dunia, selain timah dari hasil penambangan ada mineral-mineral ikutan berupa limbah (*tailing*) diantaranya batuan-batuan (agregat kasar) dan pasir (agregat halus). Pasir dari hasil penambangan banyak dimanfaatkan untuk pekerjaan konstruksi, terutama untuk campuran beton dan bahan bangunan lainnya, sedangkan agregat jenis batuan belum banyak dimanfaatkan terutama untuk bahan perkerasan jalan dan campuran aspal dikarenakan kualitasnya belum diketahui dengan baik. Untuk mengurangi ketergantungan agregat dan debu batu dari luar pulau, bahan lokal berupa batuan limbah tambang timah Pulau Bangka (*tailing*) yang belum dioptimalkan penggunaannya perlu dilakukan upaya penelitian kualitas dari bahan limbah (*tailing*) sebagai bahan jalan terutama pada campuran Lapis Aspal Beton (Laston), atau Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston).

Pada campuran HRS-WC sebagai lapis aus (*wearing course*), penggunaan agregat kasar dan sedang relatif lebih sedikit, tapi lebih banyak terdiri dari mortar, yaitu gabungan antara agregat halus, *filler*, dan aspal keras. *Filler* bila bersama dengan aspal akan membentuk mastik (bahan ikat) yang akan menyelimuti dan mengikat agregat halus dan membentuk mortar, sehingga akan memberikan kekuatan ikatan saling mengisi dan mengunci antar agregat (*interlocking*). Kekuatan mekanis atau stabilitas lebih ditentukan oleh kekuatan mortar tersebut.

Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan suatu upaya untuk mencari alternatif *filler* pengganti yang lebih ekonomis, tetapi tetap memenuhi spesifikasi bahan yang disyaratkan, mempunyai jumlah yang mencukupi, mudah mendapatkan, serta pengolahannya. Upaya tersebut dilakukan terutama dengan pemanfaatan batuan limbah hasil penambangan timah yang banyak terdapat di pulau Bangka. Dalam rangka memenuhi harapan tersebut dilakukanlah penelitian pemanfaatan serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) yang terdapat di Desa Mapur, Kecamatan Riau Silip, Kabupaten Bangka, Propinsi Kepulauan Bangka Belitung sebagai *filler* pengganti pada campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC)

1.5. Tujuan dan manfa'at

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini :

1. Memberikan kajian yang tepat mengenai karakteristik *Marshall* pada campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC).
2. Mengetahui pengaruh pemanfaatan serbuk batu limbah tambang timah Pulau Bangka sebagai *filler* pengganti pada campuran HRS-WC.
3. Mengetahui kadar aspal optimum dan kadar *filler* serbuk batu limbah tambang timah Pulau Bangka (*tailing*) yang harus digunakan sehingga mendapatkan karakteristik campuran HRS-WC yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan

1.6. Batasan masalah

Experiment dilakukan di Laboratorium PU Kabupaten Bangka dengan batasan kajian yang akan dilakukan adalah:

1. Pengujian pada penelitian ini hanya pada campuran HRS-WC.
2. Aspal yang digunakan adalah aspal keras jenis AC 60/70 dengan kadar aspal terhadap campuran 6,5%, 7,0%, 7,5%, 8,0%, 8,5%.
3. *Filler* yang digunakan adalah *filler* pengganti serbuk batu limbah tambang timah pulau Bangka (*tailing*) dengan kadar *filler* sebagai bahan pengisi agregat 6%, 7,0%, 8,0% dari gradasi agregat campuran lolos saringan No. 200, 6-12%.
4. Metode pengujian yang digunakan adalah metode pengujian *Marshall*.

2. LANDASAN TEORI

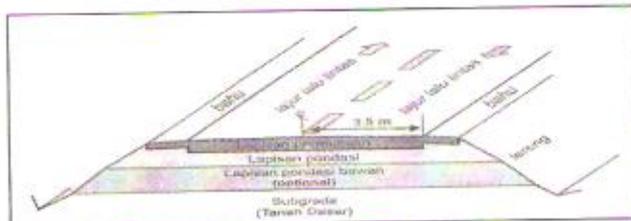
Perkerasan jalan adalah suatu konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*), yang berfungsi untuk menahan beban lalu lintas. Berdasarkan bahan pengikatnya struktur lapisan perkerasan jalan dapat dibedakan atas [1]:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu penggabungan perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, atau saat ini lebih dikenal dengan perkerasan semi kaku (*semi-rigid pavement*).

Pada umumnya perkerasan lentur baik digunakan untuk jalur lalu lintas dengan lalu lintas utama kendaraan penumpang, jalan perkotaan dengan sistem utilitas yang kurang

baik dan terletak di bawah perkerasan jalan, untuk perkerasan bahu jalan, atau perkerasan dengan konstruksi bertahap. Lapisan perkerasan lentur dibuat berlapis-lapis, lapisan paling atas mempunyai mutu yang lebih baik dari lapisan dibawahnya. Struktur perkerasan lentur yang dibangun dari beberapa lapisan terdiri dari [2]:

1. Lapisan permukaan (*Surface course*).
2. Lapisan pondasi atas (*Base course*).
3. Lapisan pondasi bawah (*Subbase course*).
4. Lapisan Tanah dasar (*Subgrade*).



Sumber : Sukirman, S., 2006.

Gambar 2.1. : Struktur Perkerasan Lentur

2.4. Lapisan Permukaan Kriteria (*Surface course*).

Lapisan perkerasan yang terletak paling atas disebut lapisan permukaan (*Surface course*), dan berfungsi sebagai berikut [4]:

1. Lapis perkerasan menahan beban vertikal dari kendaraan, sehingga lapisan harus mempunyai stabilitas tinggi selama masa pelayanan.
2. Lapis aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
3. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya. Yang mengakibatkan rusaknya konstruksi perkerasan jalan.
4. Lapis yang menyebarkan beban ke lapis pondasi, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung yang lebih rendah.

2.5. Batuan Limbah Tambang Timah (*Tailing*).

Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah merupakan hasil pelapukan dari batuan. Batuan dapat dibagi menjadi tiga tipe. Jenis-jenis batuan utama yang diklasifikasikan pada Tabel 2.1, dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 : Klasifikasi Batuan Malihan (*Metamorf*) (Attewell, 1976)

| Tekstur | Nama Batuan | Fitur yang Diidentifikasi |
|----------|---|---|
| BERBUTIR | Homfel Kwarsit | Berbutir halus, terutama terdiri partikel kwarsa |
| | Marmer | Berbutir halus s/d kasar dari kalisit atau dolomit |
| GNEISIK | Gneis | Butiran mineral memanjang atau pipih bersusun bergantian |
| SEKIS | Sekis Serpentinit Batu Sakak Filit | Batuan berlapis tipis dengan porsi fillosilikat yang tinggi |

Sumber : Depkimpraswil, 2002

Tabel 2.2 : Klasifikasi Batuan Malihan (*Sedimen*) (Attewel, 1976)

| Tekstur | | Nama Batuan | Fitur yang Diidentifikasi | |
|-----------------|--------|---|-----------------------------------|--------------------|
| | | Kwarsa Dominan | Felspar Dominan + Mineral Lempung | |
| SEDIMEN MEKANIS | KASAR | Kwarsa Konglomerat | | |
| | MEDIUM | Batu pasir | Greywacke | Arkose |
| | HALUS | Kwarsit | Serpih Klorit dan Serpik Mika | Serpik/Batu Lumpur |
| SEDIMEN KIMIA | | Batu Gamping Dolomit Evaporit Rijang | | |

Sumber : Depkimpraswil, 2002

2.6. Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRC-WC).

Lataston terdiri dari dua macam campuran, Lataston lapis pondasi (*HRS-Base*) dan Lataston lapis permukaan (*HRS-Wearing Course*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. Lataston lapis permukaan mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih halus dari pada Lataston lapis pondasi (*HRS-Base*). Lataston lapis permukaan atau yang dikenal juga dengan nama *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (*HRS-WC*), yang difungsikan sebagai lapis aus (*wearing course*), yaitu lapis permukaan nonstruktural yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan Depkimpraswil (2005), dengan tebal nominal minimum campuran rancangan seperti pada Tabel 2.3 [10]

Tabel 2.3 : Tebal Rancangan Campuran Aspal

| Jenis Campuran | | Simbol | Tebal Nominal Minimum (cm) |
|-----------------|----------------|----------|----------------------------|
| Latasir Kelas A | | SS-A | 1,5 |
| Latasir Kelas B | | SS-B | 2,0 |
| Lataston | Lapis Aus | HRS-WC | 3,0 |
| | Lapis Pondasi | HRS-Base | 3,5 |
| Laston | Lapis Aus | AC-WC | 4,0 |
| | Lapis Pengikat | AC-BC | 5,0 |
| | Lapis Pondasi | AC-Base | 6,0 |

Sumber : Depkimpraswil, 2005

Lapis tipis aspal beton (Lataston) sebagai lapis permukaan (*HRS-Wearing Course*) merupakan campuran antara agregat bergradasi senjang yang terdiri dari agregat pecahan mesin, agregat halus (pasir), *filler*, dan aspal sebagai pengikat dengan campuran tertentu di *Asphalt Mixing Plant* (AMP), dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas (*hot mix*). Selain bergradasi senjang, sisa rongga udara pada kepadatan membal (*refusal density*) harus memenuhi ketentuan yang disyaratkan dalam spesifikasi.

Campuran HRS-WC harus dirancang sampai memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam spesifikasi, Depkimpraswil (2002) dan (2005). Karena campuran HRS-WC mempunyai gradasi agregat yang senjang menyebabkan rongga udara dalam agregat cukup besar, sehingga mampu menyerap aspal yang relatif cukup banyak. Kadar aspal yang relatif banyak menyebabkan selimut aspal menjadi semakin tebal, daya ikat antar butir agregat menjadi lebih baik, sehingga menyebabkan rongga dalam campuran

agregat, aspal, *filler* menjadi kecil. Kondisi inilah yang menyebabkan campuran HRS-WC sebagai lapisan aus memiliki karakteristik dengan durabilitas dan fleksibilitas tinggi, kedap terhadap air, dan cuaca [31].

Kadar aspal dalam campuran adalah persentase aspal yang aktual ditambahkan ke dalam campuran yang bergantung pada penyerapan agregat terhadap aspal, guna menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori-pori antar agregat. Menurut Depkimpraswil (2002) kadar aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat total bahan yang mengandung aspal dikali 100%.

Ada beberapa rumus dalam menentukan kadar aspal optimum atau ideal, salah satu yang dirumuskan oleh Depkimpraswil (2005), dan RSNI M-01-2003 pada metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat *Mashall*, perkiraan awal kadar aspal rancangan adalah :

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% Filler) + K \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana :

- P_b = kadar aspal perkiraan
- CA = agregat kasar tertahan saringan No.8
- FA = agregat halus lolos saringan No.8 dan tertahan No.200
- Filler = agregat halus lolos saringan No.200
- K = konstanta ; 0,5 – 1,0 untuk Laston (AC); 2,0 – 3,0 untuk Lataston (HRS).

Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal rancangan dengan nilai dari setiap parameter karakteristik *Marshall*, dan yang memenuhi sifat-sifat campuran serta ketentuan yang disyaratkan pada Tabel 2.14. Sifat-sifat benda uji yang sudah dipadatkan harus dihitung menggunakan metode dan rumus yang ditunjukkan dalam *Asphalt Institute MS-2* (1994), atau Petunjuk Rancangan Campuran Aspal, Puslitbang Jalan (1999), Depkimpraswil (2005).

2.7. Bahan Pengisi (*filler*).

Bahan pengisi (*filler*), adalah suatu bahan berbutir halus yang lolos ukuran saringan No.30 (=0,59 mm), dan paling sedikit 65% lolos saringan No. 200 (=0,075 mm). Fraksi abu batu dikenal juga dengan nama bahan pengisi (*filler*), adalah kumpulan agregat yang butir agregatnya dominan abu batu, sedikit agregat kasar, dan atau halus, Sukirman (2006). Bahan pengisi (*filler*) untuk campuran aspal dapat menggunakan debu batu kapur (*limestone dust*), abu batu, semen Portland, abu terbang, abu tanur semen atau bahan mineral non plastis lainnya, asalkan bagian yang lolos saringan NO..200 (=0,075 mm) sama atau lebih banyak dari 75 % beratnya. Pada waktu digunakan bahan pengisi (*filler*) harus cukup kering untuk dapat mengalir bebas, dan tidak boleh menggumpal.

Pembuatan lapis permukaan dari beton aspal diperlukan agregat dengan gradasi tertentu, disamping agregat kasar, agregat halus, juga bahan pengisi (*filler*). Dalam campuran beton aspal, *filler* memiliki peranan tersendiri, untuk mendapatkan beton aspal yang memenuhi ketentuan.

Bahan pengisi (*filler*) bila diuji dengan cara basah harus mempunyai gradasi yang mempunyai batas-batas sesuai Tabel 2.4

Tabel 2.4 : Gradasi Bahan Pengisi (*Filler*)

| Ukuran Saringan | Persentase Lolos |
|---------------------|------------------|
| No. 30 (600 mikron) | 100 |
| No. 50 (300 mikron) | 95 - 100 |
| No. 200 (75 mikron) | 70 - 100 |

Sumber : Depkimpraswil, 2002

Bahan pengisi (*filler*) yang merupakan bagian dari agregat akan mempengaruhi karakteristik beton aspal dimana kadar *filler* akan mempengaruhi dalam proses pencampuran, penggelaran, dan pemadatan. Di samping itu kadar dan jenis *filler* akan berpengaruh terhadap sifat elastic campuran dan sensitifitas terhadap air. Sensitivitas campuran terhadap air pada tipe dan kadar *filler* yang berbeda menunjukkan variasi yang besar. Sensitivitas terhadap air dapat diturunkan dengan mengurangi kadar *filler* yang sensitive air.

Penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran aspal *filler* mempengaruhi penggunaan *filler* terhadap viskositas campuran, dimana penggunaan berbagai jenis *filler* terhadap viskositas campuran tidak sama. Luas permukaan *filler* yang makin besar akan menaikkan viskositas campuran dibanding dengan yang berluas permukaan kecil. Perbedaan ini menjadi lebih kecil pada suhu lebih rendah.

Bagian partikel bahan pengisi (*filler*) yang mempunyai diameter butiran lebih besar dari selimut tipis aspal yang menyelimuti agregat akan memberikan sumbangan saling kunci antar agregat, sedangkan butiran-partikel *filler* yang mempunyai diameter butiran lebih kecil dari selimut tipis aspal yang menyelimuti agregat akan tersuspensi dalam aspal, (Murwono, 1992, dalam Daryanto, 2005) [11].

2.8. Kadar Asphalt Optimum (KAO).

Kadar aspal optimum adalah hasil dari pengujian *Marshall* yang berupa nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi campuran. Untuk mendapatkan kadar aspal optimum terlebih dahulu harus digambarkan hubungan antara kadar aspal dan *filler* dengan karakteristik *Marshall*, yaitu gambar hubungan antara kadar aspal dan *filler* dengan kepadatan (*density*), kadar aspal dan *filler* dengan *voids mineral aggregate* (VMA), kadar aspal dan *filler* dengan *voids in mix* (VIM), kadar aspal dan *filler* dengan *voids filled bitumen* (VFB), kadar aspal dan *filler* dengan stabilitas, kadar aspal dan *filler* dengan *flow*, dan kadar aspal dan *filler* dengan *Marshall Quotient* (MQ). Kadar aspal optimum ditentukan dengan menempatkan batas-batas spesifikasi pada gambar-gambar tersebut.

Kadar aspal optimum yang baik adalah kadar aspal yang memenuhi sifat campuran yang diinginkan dengan rentang kadar aspal optimum lebih besar 0,5%. Hal ini dibutuhkan untuk memberikan ruang toleransi terhadap penyimpangan-penyimpangan serta kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi selama proses pencampuran, penghamparan maupun pemadatan. (Sukirman, 2003) [16].

2.9. Pengujian Marshall (*Marshall Test*).

Pengujian ini meliputi pengukuran stabilitas dan pelelehan (*flow*) suatu campuran beraspal dengan butir agregat berukuran maksimum 25,4 mm. Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram. Alir (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm. Acuan

normatif yaitu SNI 06 – 2489–1991, AASHTO T 245–97, AASHTO. T 209–90, BS 598, dan *Asphalt Institute* MS-2 – 1994.

Pengujian *Marshall* merupakan suatu metode untuk menentukan rancangan campuran agregat-aspal, dimana dalam metode ini terlebih dahulu dibuat benda uji padat yang dibentuk dari agregat campuran dan aspal dengan kadar tertentu sesuai spesifikasi campuran. Pengujian *Marshall* dilakukan dengan menggunakan alat *Marshall*, merupakan alat tekan yang dilengkapi kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung, cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg yang digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm, arloji pengukur alir (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm digunakan untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*) beserta perlengkapannya.

3. METODOLOGI

3.1. Bahan.

Bahan-bahan yang dipergunakan untuk penelitian ini diperoleh dan berasal dari :

1. Agregat kasar diperoleh dari hasil pengolahan batu pecah dengan mesin (*stones crusher*) yang didatangkan dari luar pulau Bangka atau lebih dikenal dengan sebutan batu Merak.
2. Agregat halus berasal dari *quary* bekas penambangan PT. Timah Dusun Bedukang Desa Deniang Kecamatan Riau Silip, dan agregat batu pecah mesin pemasok pemecah batu (*stones crusher*) *quary* PT. ABI di Kelurahan Kenanga Kecamatan Sungailiat Kabupaten Bangka Propinsi Kepulauan Bangka Belitung.
3. Aspal keras jenis AC 60/70 diproduksi Pertamina
4. *Filler* dibuat dari serbuk batu limbah tambang timah berasal dari *quary* TS 131 Desa Mapur Kecamatan Riau Silip Kabupaten Bangka Propinsi Kepulauan Bangka Belitung.
5. Bahan penunjang uji, terdiri dari :
 - a) kantong-kantong plastik, berkapasitas 2 kg
 - b) gas elpiji atau minyak tanah.

3.2. Asphalt.

Bahan aspal yang dapat dipergunakan terdiri atas jenis Aspal Keras Pen 60, Aspal Polimer, Aspal dimodifikasi dengan Asbuton dan Aspal Multigrade yang memenuhi syarat yang telah ditentukan . Pada penelitian ini yang dipakai adalah aspal keras dengan angka penetrasi 60/70 atau lebih dikenal dengan AC 60/70. Persyaratan untuk aspal penetrasi AC 60/70 mengacu pada spesifikasi campuran beraspal panas

3.3. Bahan Pengisi (*filler*).

Debu batu (*stonedust*) dan bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai dengan SK SNI M-02-1994-03 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 micron = 0,075 mm) tidak kurang 75% dari beratnya, dan bila diuji dengan penyaringan sesuai SNI 03-4142-1996 harus mengandung bahan yang lolos saringan No. 200 (75 micron) tidak kurang dari 75% lolos saringan No. 30 (600 micron) dan mempunyai sifat non plastis. Untuk mengetahui persentase berat butiran yang lolos satu set saringan dengan ukuran tertentu pada bahan pengisi dilakukan pengujian analisis saringan bahan pengisi untuk perkerasan jalan sesuai SNI 03-6884-2002 yang mengacu pada standar AASHTO

Pada penelitian ini untuk bahan pengisi (*filler*) dipergunakan serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) sebagai *filler* pengganti yang digerus dan diolah sedemikian rupa sehingga lolos saringan No.200 (0,075 mm), dan telah melalui pemeriksaan dengan menggunakan metode-metode pengujian di atas.

Rancangan kadar *filler* campuran pada penelitian ini ditentukan berdasarkan kadar *filler* debu batu yang lolos saringan No.200 atau sama dengan 0,075 mm pada persyaratan gradasi agregat campuran HRS-WS seperti yang diperlihatkan pada antara 6% – 12 % berat lolos saringan.

Tabel 3.1 : Toleransi Komposisi Campuran

| Agregat Gabungan Lolos Ayakan | Toleransi Komposisi Campuran |
|------------------------------------|------------------------------|
| Sama atau lebih besar dari 2,36 mm | ± 5 % berat total agregat |
| 2,36 mm sampai No.50 | ± 3 % berat total agregat |
| No.100 dan tertahan No.200 | ± 2 % berat total agregat |
| No.200 | ± 1 % berat total agregat |

Sumber : Depkimpraswil 2005

Setelah dilakukan pemeriksaan berat jenis terhadap agregat kasar, agregat halus dan *filler*, bila hasil pemeriksaan berat jenis (*specific gravity*) terdapat perbedaan seperti yang dijelaskan di atas lebih besar dari 0,2, maka untuk membuat suatu target gradasi harus ditentukan berdasarkan perbandingan volume dengan penambahan sesuai tertera pada Tabel 3.1. Pada penelitian ini berat jenis agregat dari sumber yang berbeda di dapat berat jenis agregat kasar, agregat halus dan *filler* tidak jauh berbeda atau kurang dari 0,2, maka dipakai sama dengan persentase penggunaan gradasi campuran yang menggunakan variasi kadar *filler* abu batu 6%- 8%, dengan interval kenaikan 1 %.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.3. Hasil pengujian.

Data hasil pemeriksaan bahan susun benda uji terdiri dari hasil pemeriksaan agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal penetrasi AC 60/70, serta data-data hasil pengujian Marshall yang diperoleh dari penelitian dan perhitungan terdiri dari parameter-parameter kepadatan (*density*), volume pori dalam agregat campuran (VMA), volume pori dalam campuran (VIM), volume pori antar agregat yang terisi aspal (VFB), stabilitas, pelelehan (*flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ). Pemeriksaan bahan susun benda uji untuk campuran HRS-WC serta pengujian *Marshall* dilakukan di Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Bangka dan Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Propinsi Kepulauan Bangka Belitung. Adapun hasil pemeriksaan dan pengujian dibuat pada Tabel-tabel berikut :

Tabel 4.1 : Hasil pemeriksaan agregat halus lokal

| No | Jenis Pemeriksaan | Spesifikasi | Hasil | Satuan |
|----|---------------------------------|-------------|-------|--------|
| 1 | Penyerapan agregat terhadap air | maks. 3 | 2,859 | % |
| 2 | Berat Jenis | | | |
| 3 | - Berat Jenis <i>Bulk</i> | min. 2,5 | 2,582 | gr/cc |
| | - Berat Jenis (SSD) | min. 2,5 | 2,656 | gr/cc |
| | - Berat Jenis Semu | min. 2,5 | 2,788 | gr/cc |

Tabel 4.2 : Hasil pemeriksaan agregat halus merak

| No | Jenis Pemeriksaan | Spesifikasi | Hasil | Satuan |
|----|---------------------------------|-------------|-------|--------|
| 1 | Penyerapan agregat terhadap air | maks. 3 | 1,709 | % |
| 2 | Berat Jenis | | | |
| | - Berat Jenis <i>Bulk</i> | min. 2,5 | 2,597 | gr/cc |
| | - Berat Jenis (SSD) | min. 2,5 | 2,641 | gr/cc |
| | - Berat Jenis Semu | min. 2,5 | 2,718 | gr/cc |

Tabel 4.3 : Hasil pemeriksaan *filler*

| No | Jenis Pemeriksaan | Hasil | Satuan |
|----|---|-------|--------|
| 1 | Berat Jenis <i>Filler</i> Abu Batu | 2,718 | gr/cc |
| 2 | Berat Jenis <i>Filler</i> Serbuk Batu Limbah Tambang Timah (<i>Tailing</i>) | 2,649 | gr/cc |

Tabel 4.4 : Hasil pemeriksaan aspal AC 60/70

| No | Jenis Pemeriksaan | Spesifikasi | Hasil | Satuan |
|----|------------------------------------|-------------|-------|--------|
| 1 | Penetrasi 25°C | 60 - 79 | 65,75 | 0,1 mm |
| 2 | Titik lembek | 48 - 58 | 49,58 | °C |
| 3 | Titik Nyala | min. 200 | 324 | 25°C |
| 4 | Daktalitas 25°C | min. 100 | > 140 | cm |
| 5 | Kehilangan berat 163°C, 5 jam % | mak. 0,4 | 0,17 | % |
| 6 | Penetrasi setelah kehilangan berat | min. 75 | 84,03 | % |
| 7 | Kelarutan dalam CCL ₄ | min. 99 | 99,17 | % |
| 8 | Berat Jenis aspal | 1 | 1,030 | gr/cc |

Sumber : UPT PPP DPU, 2006

Hasil penelitian dan perhitungan pengujian *Marshall* dari variasi kadar *filler* serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) dan *filler* abu batu yang terdiri dari berbagai parameter.

Tabel 4.5 : Hasil uji *Marshall* pada kadar *filler* serbuk batu *tailing* 6%

| No | Karakteristik <i>Marshall</i> | Satuan | Kadar Aspal | | | | |
|----|-------------------------------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 6,5% | 7,0% | 7,5% | 8,0% | 8,5% |
| 1 | Density | gr/cm ³ | 2,268 | 2,291 | 2,293 | 2,303 | 2,306 |
| 2 | VMA | % | 21,29 | 20,92 | 21,28 | 21,35 | 21,67 |
| 3 | VFB | % | 67,32 | 74,69 | 78,72 | 84,04 | 88,13 |
| 4 | VIM | % | 6,97 | 5,35 | 4,59 | 3,46 | 2,64 |
| 5 | Stabilitas | kg | 1043 | 981 | 1013 | 1018 | 1239 |
| 6 | <i>Flow</i> | mm | 2,2 | 2,3 | 2,8 | 3,2 | 3,4 |
| 7 | MQ | kg/mm | 482 | 429 | 371 | 318 | 361 |

Tabel 4.6 : Hasil uji *Marshall* pada kadar *filler* serbuk batu *tailing* 7%

| No | Karakteristik <i>Marshall</i> | Satuan | Kadar Aspal | | | | |
|----|-------------------------------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 6,5% | 7,0% | 7,5% | 8,0% | 8,5% |
| 1 | Density | gr/cm ³ | 2,278 | 2,303 | 2,402 | 2,310 | 2,310 |
| 2 | VMA | % | 20,91 | 20,50 | 21,49 | 21,11 | 21,54 |
| 3 | VFB | % | 68,88 | 76,35 | 77,64 | 85,18 | 88,51 |
| 4 | VIM | % | 6,53 | 4,85 | 4,84 | 3,18 | 2,48 |
| 5 | Stabilitas | kg | 996 | 967 | 887 | 882 | 937 |
| 6 | <i>Flow</i> | mm | 2,4 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,5 |
| 7 | MQ | kg/mm | 420 | 409 | 332 | 291 | 268 |

Tabel 4.7. Hasil uji Marshall pada kadar filler serbuk batu tailing 8%

| No | Karakteristik Marshall | Satuan | Kadar Aspal | | | | |
|----|------------------------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 6,5% | 7,0% | 7,5% | 8,0% | 8,5% |
| 1 | Density | gr/cm ³ | 2,312 | 2,345 | 2,344 | 2,344 | 2,330 |
| 2 | VMA | % | 19,71 | 19,02 | 19,49 | 19,94 | 20,82 |
| 3 | VFB | % | 74,10 | 83,80 | 87,64 | 91,35 | 92,49 |
| 4 | VIM | % | 5,12 | 3,09 | 2,42 | 1,74 | 1,59 |
| 5 | Stabilitas | kg | 1029 | 1.167 | 980 | 825 | 782 |
| 6 | Flow | mm | 2,5 | 2,9 | 3,1 | 3,6 | 4,1 |
| 7 | MQ | kg/mm | 407 | 398 | 313 | 227 | 198 |

Tabel 4.8. Hasil uji Marshall pada kadar filler abu batu 6%

| No | Karakteristik Marshall | Satuan | Kadar Aspal | | | | |
|----|------------------------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 6,5% | 7,0% | 7,5% | 8,0% | 8,5% |
| 1 | Density | gr/cm ³ | 2,292 | 2,310 | 2,306 | 2,308 | 2,303 |
| 2 | VMA | % | 20,58 | 20,38 | 20,94 | 21,32 | 21,92 |
| 3 | VFB | % | 70,30 | 77,10 | 80,29 | 84,06 | 86,70 |
| 4 | VIM | % | 6,12 | 4,68 | 4,15 | 3,40 | 2,92 |
| 5 | Stabilitas | kg | 1020 | 921 | 1003 | 914 | 811 |
| 6 | Flow | mm | 3,1 | 3,4 | 3,7 | 4,1 | 4,4 |
| 7 | MQ | kg/mm | 333 | 271 | 271 | 225 | 183 |

Tabel 4.9. Hasil uji Marshall pada kadar filler abu batu 7%

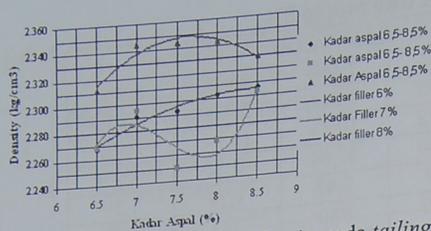
| No | Karakteristik Marshall | Satuan | Kadar Aspal | | | | |
|----|------------------------|--------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 6,5% | 7,0% | 7,5% | 8,0% | 8,5% |
| 1 | Density | gr/cm ³ | 2,275 | 2,298 | 2,325 | 2,337 | 2,315 |
| 2 | VMA | % | 21,16 | 20,78 | 20,30 | 20,32 | 21,51 |
| 3 | VFB | % | 67,86 | 75,27 | 83,42 | 89,34 | 88,83 |
| 4 | VIM | % | 6,80 | 5,16 | 3,37 | 2,17 | 2,41 |
| 5 | Stabilitas | kg | 1028 | 933 | 966 | 895 | 807 |
| 6 | Flow | mm | 3,2 | 4,2 | 4,3 | 4,5 | 4,9 |
| 7 | MQ | kg/mm | 323 | 229 | 223 | 199 | 165 |

4.4. Pembahasan.

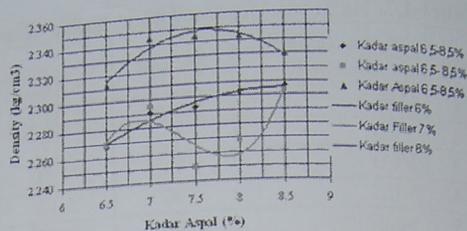
Setelah melakukan pengujian-pengujian, di dapat nilai-nilai parameter karakteristik Marshall dari berbagai variasi kadar aspal dan kadar filler. Sehingga dapat dibahas mengenai pengaruh penambahan dari kadar aspal dan filler terhadap nilai dari setiap parameter uji Marshall. Pembahasan mencakup batasan nilai minimum dan maksimum dari setiap karakteristik uji Marshall mengacu pada spesifikasi Campuran Beraspal Panas Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002) [4].

Berat volume campuran agregat atau lebih dikenal dengan kepadatan (*density*) merupakan berat jenis *bulk*, yang merupakan berat suatu campuran yang diukur setiap satuan volume. Kepadatan (*density*) campuran menunjukkan tingkat kepadatan tekanan kontak, nilai stabilitas, dan volume pori dalam campuran.

Hubungan berbagai variasi penambahan kadar aspal terhadap nilai *density* yang menggunakan filler serbuk batu (*tailing*) maupun abu batu dapat dilihat pada **Gambar 4.1. a). dan b).**



a). Kadar aspal terhadap *density* pada *tailing*



b). Kadar aspal terhadap *density* pada abu batu

Gambar 4.1 : Grafik pengaruh variasi kadar aspal terhadap *density* pada *tailing* dan abu batu.

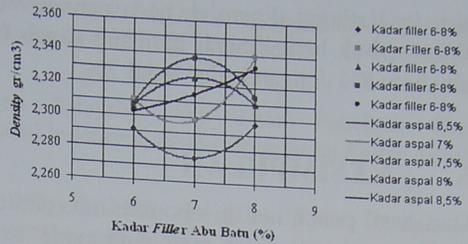
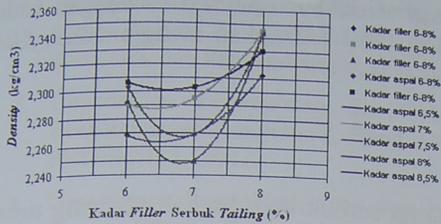
Hasil penelitian pada Gambar 4.1.a di atas menunjukkan bahwa pada semua variasi kadar *filler* yang menggunakan serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*), nilai *density* memiliki kecenderungan meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal, sampai batas tertentu, dan berkurang atau turun pada penambahan kadar aspal tertentu. Menurunnya selanjutnya kembali meningkat pada penambahan kadar aspal tertentu. Menurunnya nilai *density* pada *filler tailing* 7% seiring penambahan kadar aspal 7,5% diakibatkan penambahan kadar aspal yang sudah mencapai maksimal sehingga mengakibatkan berat campuran tidak sesuai dibandingkan peningkatan volume campuran. Berkurangnya nilai *density* akibat penambahan kadar aspal melewati batas-batas tertentu dikarenakan rongga atau pori dalam campuran sudah rapat, sehingga mendesak butir-butir agregat dalam campuran yang mengakibatkan selimut aspal menjadi bertambah tebal. Semakin tebalnya selimut aspal yang menutupi rongga pori agregat, maka volume campuran menjadi semakin besar.

Pada Gambar 4.1.b menunjukkan bahwa pada semua variasi kadar *filler* yang menggunakan abu batu seiring penambahan kadar aspal tertentu, nilai *density* mengalami kenaikan sampai batas maksimum, dan selanjutnya turun. Pada kadar *filler* 8% seiring penambahan aspal dari 7% sampai 7,5% mengalami penurunan, namun seiring dengan bertambahnya kadar aspal dari 7,5 sampai 8,5%, nilai *density* kembali mengalami kenaikan.

Meningkatnya nilai *density* seiring bertambahnya kadar aspal sampai batas tertentu akan memudahkan proses pemadatan, dan memudahkan agregat yang berbutir lebih kecil mengisi rongga pori antar butiran agregat yang lebih besar sehingga campuran menjadi rapat. Dengan bertambahnya kadar aspal, maka volume pori dalam total campuran yang masih tersisa akan diisi oleh aspal yang ditambahkan tersebut. Akibat padatnya campuran menyebabkan volume pori akan berkurang, sedangkan dengan penambahan kadar aspal akan mengisi sisa rongga antar agregat dan menyebabkan naiknya berat campuran sehingga nilai *density* semakin meningkat.

Menurunnya nilai *density* pada *filler* abu batu 8% seiring penambahan kadar aspal 7,5% diakibatkan penambahan kadar aspal yang sudah mencapai maksimal sehingga mengakibatkan berat campuran tidak sesuai dibandingkan peningkatan volume campuran.

Hubungan berbagai variasi kadar *filler* baik yang menggunakan serbuk batu limbah tambang timah maupun abu batu terhadap nilai *density* dapat dilihat pada Gambar 4.2 a dan 4.2 b.



a). Kadar filler tailing terhadap density
 b). Kadar filler abu batu terhadap density
Gambar 4.2 : Grafik pengaruh variasi kadar filler terhadap density

Hasil penelitian pada **Gambar 4.2.a** di atas menunjukkan bahwa pada semua variasi kadar aspal, penambahan kadar filler serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) dari 6% sampai 7% menyebabkan penurunan nilai *density*, dan penambahan kadar filler sampai 8% menyebabkan peningkatan nilai *density*.

Sedangkan dari penelitian variasi kadar filler yang menggunakan abu batu pada **Gambar 4.2.b** di atas menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal 6,5 sampai 7% penurunan, sedangkan penambahan kadar filler sampai 7%, nilai *density* mengalami kenaikan. Penambahan kadar aspal dari 7,5 sampai 8,5% seiring bertambahnya kadar filler dari 6 sampai 7% mengakibatkan kenaikan nilai *density*. Penambahan kadar filler sampai 8% menyebabkan nilai *density* mengalami penurunan.

Turunnya nilai *density* dikarenakan rongga antar agregat dalam campuran yang telah jenuh atau rapat, sehingga kehadiran filler akan menimbulkan rongga pori baru. Naiknya nilai *density* kembali pada penambahan filler disebabkan karena masih tersedianya rongga antara agregat halus dan agregat kasar, sehingga penambahan kadar filler akan mengisi rongga pori yang lebih besar dari ukuran butiran filler tersebut dan membutuhkan penambahan kadar aspal untuk mengisi rongga antar agregat mengakibatkan rongga dalam campuran akan berkurang dan campuran menjadi lebih rapat dan berat campuran menjadi meningkat.

Nilai *density* maksimum dan minimum untuk berbagai variasi kadar filler baik yang menggunakan serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) maupun abu batu dapat dilihat pada **Tabel 4.10**

Tabel 4.10 : Nilai *density* untuk berbagai kadar filler

| Kadar Filler (%) | | Density Minimum | | | | Density Maksimum | | | |
|-----------------------|----------|-------------------------------|----------|-----------------|----------|-------------------------------|----------|-----------------|----------|
| Serbuk batu (Tailing) | Abu Batu | Density (gr/cm ³) | | Kadar Aspal (%) | | Density (gr/cm ³) | | Kadar Aspal (%) | |
| | | Abu Tailing | Abu Batu | Abu Tailing | Abu Batu | Abu Tailing | Abu Batu | Abu Tailing | Abu Batu |
| 6% | 6% | 2,268 | 2,292 | 6,5 | 6,5 | 2,306 | 2,310 | 8,5 | 7,0 |
| 7% | 7% | 2,278 | 2,275 | 6,5 | 6,5 | 2,402 | 2,337 | 7,5 | 8,0 |
| 8% | 8% | 2,312 | 2,297 | 6,5 | 6,5 | 2,345 | 2,339 | 7,0 | 7,0 |

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada penelitian ini nilai *density* terendah pada variasi penambahan kadar aspal 6,5 % dengan kadar filler serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) 6 % sedangkan yang menggunakan filler abu batu kadarnya 7 %. Nilai

density tertinggi diperoleh pada penambahan variasi kadar aspal 7,5 % dengan kadar *filler* serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) 7%, sedangkan menggunakan *filler* abu batu 8% dengan kadar aspal 7%.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di laboratorium, pemanfaatan serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) sebagai *filler* pengganti pada campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing course* (HRS-WC) menggunakan *filler* abu batu berdasarkan uji *Marshall* dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai *density* pada semua variasi kadar aspal turun seiring penambahan kadar *filler* serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) maupun *filler* abu batu dari 6% sampai 7%, kecuali pada variasi kadar aspal 6,5% dan 7%. Nilai *density* semua variasi kadar aspal kembali naik pada saat penambahan kadar *filler* serbuk batu *tailing* sebesar 8%.
2. Nilai VMA, pada semua variasi kadar aspal seiring penambahan kadar *filler* serbuk batu *tailing* dari 6% sampai 8% mengalami penurunan, kecuali pada kadar aspal 7,5% penambahan kadar *filler* dari 6% sampai 7% VMA nya naik.
3. Nilai stabilitas pada penambahan kadar *filler* serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) dari 6% sampai 7% pada semua variasi kadar aspal mengalami penurunan, sedangkan *filler* abu batu pada penambahan kadar *filler* tersebut turun pada variasi kadar aspal dari 7,5% sampai 8,5%. Penambahan kadar *filler* 8% baik serbuk batu *tailing* maupun abu batu pada variasi kadar aspal dari 6,5% sampai 7% mengalami kenaikan.
4. Kadar aspal optimum (KAO) diperoleh pada semua penambahan kadar *filler* baik yang menggunakan serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) maupun *filler* abu batu, kecuali pada penambahan kadar *filler* serbuk limbah tambang timah (*tailing*) 8% tidak didapat rentang kadar aspal optimum $\geq 0,5\%$. Kadar aspal optimum terbaik pada *filler* serbuk batu limbah tambang timah (*tailing*) diperoleh pada variasi kadar *filler* 6% dengan kadar aspal optimum 7,30% dan rentang kadar aspal 0,94%. Sedangkan kadar aspal optimum terbaik *filler* abu batu diperoleh pada kombinasi kadar *filler* 6% dengan kadar aspal optimum 7,10% dan rentang kadar aspal 1,0%.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Alamsyah, A.A, 2003, *Rekayasa Jalan Raya*, Penerbit UMM, Malang.
2. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Bina Marga, 1997, *Konstruksi Pondasi Jalan 211*, Penerbit Medisa Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
3. Direktorat Jendral Bina Marga, 2000, *Modul 4: Pengujian Aspal Beton*, Bahan Bacaan dan Refrensi Teknisi Laboratorium, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
4. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002, *Pedoman/Petunjuk Teknis dan Manual Bagian 1, Tanah (Panduan Geoteknik)*, Badan Penelitian dan Pengembangan, Jakarta.
5. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002, *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara Bagian 2: Batuan, Sedimen, Agregat*, Badan Penelitian dan Pengembangan, Jakarta.

6. Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002, *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara Bagian 4: Aspal, Aspal Batu Buton(ASBUTON), Perkerasan Jalan, Badan Penelitian dan Pengembangan*, Jakarta.
7. Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002, *Badan Penelitian Dan Pengembangan Kimpraswil, Standar Nasional Indonesia, Metode Pengujian Kadar Aspal*, SNI 06-2438-1991.
8. Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2005, *Spesifikasi Teknis Campuran Beraspal Panas*, Badan Penelitian dan Pengembangan, Jakarta.
9. Departemen Pekerjaan Umum, 2007, *Spesifikasi Teknis Campuran Beraspal Panas*, Badan Penelitian dan Pengembangan, Jakarta.
10. Departemen Pekerjaan Umum, 2007, *Badan Penelitian Dan Pengembangan PU, Standar Nasional Indonesia, Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall* ,RSNI M-01-2003.
11. Daryanto, P, 2005, *Pemanfaatan Serbuk Batu Keprus Sebagai Filler Pengganti Pada Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) Berdasarkan Uji Marshall*, JTS FT UGM, Yogyakarta.
12. M Das, B, 1995, *Mekanika Tanah II*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
13. Suprpto, Tm, 2004, *Bahan dan Struktur Jalan Raya*, Biro Penerbit, KMTS FT UGM, Yogyakarta.
14. Sukirman, S, 2007, *Beton Aspal Campuran Panas*, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
15. Sukirman, S, 2006, *Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur*, Penerbit Institut Teknologi Nasional, Bandung.
16. Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Granit, Jakarta.
17. Sukirman, S, 1999, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung