

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



| | | | | | |
|-------------------------------|---------------|--------------|---------------------|------------------|--------------------|
| JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL | VOLUME: 01 | NOMER: 01 | HALAMAN: 56 - 64 | SURABAYA 2017 | ISSN: 2252-5009 |
|-------------------------------|---------------|--------------|---------------------|------------------|--------------------|

JURUSAN TEKNIK SIPIL-FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA.

TIM EJOURNAL

Ketua Penyunting:

Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T

Penyunting:

1. Prof.Dr.E.Titiek Winanti, M.S.
2. Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T
3. Dr.Nurmi Frida DBP, MPd
4. Dr.Suparji, M.Pd
5. Hendra Wahyu Cahyaka, ST., MT.
6. Dr.Naniek Esti Darsani, M.Pd
7. Dr.Erina,S.T,M.T.
8. Drs.Suparno,M.T
9. Drs.Bambang Sabariman,S.T,M.T
10. Dr.Dadang Supryatno, MT

Mitra bestari:

1. Prof.Dr.Husaini Usman,M.T (UNJ)
2. Prof.Dr.Ir.Indra Surya, M.Sc,Ph.D (ITS)
3. Dr. Achmad Dardiri (UM)
4. Prof. Dr. Mulyadi(UNM)
5. Dr. Abdul Muis Mapalotteng (UNM)
6. Dr. Akmad Jaedun (UNY)
7. Prof.Dr.Bambang Budi (UM)
8. Dr.Nurhasanyah (UP Padang)
9. Dr.Ir.Doedoeng, MT (ITS)
10. Ir.Achmad Wicaksono, M.Eng, PhD (Universitas Brawijaya)
11. Dr.Bambang Wijanarko, MSi (ITS)
12. Ari Wibowo, ST., MT., PhD. (Universitas Brawijaya)

Penyunting Pelaksana:

1. Drs.Ir.Karyoto,M.S
2. Krisna Dwi Handayani,S.T,M.T
3. Arie Wardhono, ST., M.MT., MT. Ph.D
4. Agus Wiyono,S.Pd,M.T
5. Eko Heru Santoso, A.Md

Redaksi:

Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: tekniksipilunesa.org

Email: REKATS

DAFTAR ISI

Halaman

| | |
|-------------------|----|
| TIM EJOURNAL..... | i |
| DAFTAR ISI..... | ii |

- Vol 1 Nomer 1/rekat/17 (2017)

ANALISIS PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF

Puspa Dewi Ainul Mala, Machfud Ridwan, 01 – 12

PEMANFAATAN SERAT KULIT JAGUNG SEBAGAI BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN PLAFON ETERNIT

Dian Angga Prasetyo, Sutikno, 13 – 24

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT KULIT BAMBU PADA PLAFON GIPSUM DENGAN PEREKAT POLISTER

Tiang Eko Sukoko, Sutikno, 25 – 33

PENERAPAN SAMBUNGAN MEKANIS (METODE PEMBAUTAN) PADA BALOK DENGAN PERLETAKAN SAMBUNGAN $\frac{1}{2}$ PANJANG BALOK DITINJAU DARI KUAT LENTUR BALOK

Hehen Suhendi, Sutikno, 34 – 38

STUDI KELAYAKAN EKONOMI DAN FINANSIAL RENCANA PELEBARAN JALAN TOL WARU-SIDOARJO

Reynaldo B. Theodorus Tampang Allo, Mas Suryanto HS, 39 – 48

PENGARUH SUBSTITUSI *FLY ASH* DAN PENAMBAHAN SERBUK CANGKANG KERANG DARAH PADA KUALITAS GENTENG BETON

Mohamad Ari Permadi, Sutikno, 49 – 55

PENGARUH PENAMBAHAN *SLAG* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL* DAN PERMEABILITAS PADA CAMPURAN PANAS (*HOT MIX*) ASPAL PORUS

Rifky Arif Laksono, Purwo Mahardi, 56 – 64



PENGARUH PENAMBAHAN *SLAG* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL* DAN PERMEABILITAS PADA CAMPURAN PANAS (*HOT MIX*) ASPAL PORUS

Rifky Arif Laksono

S1 Teknik Sipil, Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: rifky1237@gmail.com

Abstrak

Aspal porus merupakan lapisan yang dapat ditembus oleh air (*permeable*) yang berfungsi mengurangi beban drainase pada permukaan perkerasan jalan. Kelemahan aspal porus ialah lapisan yang bersifat porus maka gradasi memiliki rongga yang besar, serta mengakibatkan nilai stabilitas yang sangat kecil sehingga tidak dapat menahan beban kendaraan yang besar. Penggunaan *steel slag* sebagai campuran aspal porus sudah mulai diteliti di Indonesia karena limbah yang dihasilkan dari proses produksi baja ini menghasilkan 800 ribu ton/tahun.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik *marshall* dan permeabilitas dari tiga macam kondisi campuran aspal porus. Variasi kadar *slag* dengan agregat halus yang digunakan dalam campuran ialah 25%/75%, 50%/50%, 75%/25%, dan 100%/0%, penentuan kadar *steel slag* optimum dilakukan dengan cara *grading* pada setiap variasi kadar. Kadar variasi *additive* yang digunakan pada kondisi ketiga 0,2%, 0,25%, dan 0,3% dari berat aspal yang digunakan.

Kadar 25%/75% merupakan kadar optimum penggunaan *steel slag* yang sesuai dengan gradasi AAPA 2004. campuran lapis perkerasan aspal porus pada kondisi ke-3 memiliki karakteristik *marshall* dan sifat permeabilitas lebih baik dibanding campuran lapis perkerasan aspal porus pada kondisi ke-1 serta kondisi ke-2, sehingga campuran lapis perkerasan akan lebih tahan terhadap deformasi seperti gelombang, alur (*rutting*), serta *bleeding* sehingga memiliki keawetan (*Durability*) yang jauh lebih baik

Kata kunci: aspal porus, *steel slag*, *additive*

Abstract

Asphalt porous is layers that can be penetrated by water (*permeable*) that serves reduce the burden of drainage on the surface of pavement the way. Weakness asphalt porous is layers that is porous so gradations having a cavity a great, and resulted in value stability very small so they could not hold burden vehicles large. The use of steel of slag as mixed asphalt porous have started to study in Indonesia because the waste resulting from the process of steel production it produces 800.000 tons/year.

The purpose of this research is to know characteristic Marshall and permeability of three kinds of mixed asphalt porous conditions. Variations of slag aggregate content with fine used in mixed is 25%/75%, 50%/50%, 75%/25%, and 100%/0%, the determination of steel steady levels of slag done by means of grading on any variation levels. The variation additive used on the condition of those three 0.2 %, 0.25 %, and 0.3 % of a heavy asphalt used.

Levels of 25%/75% is steady the use of steel levels of slag appropriate with gradations AAPA 2004. A mixture of layers pavement asphalt porous on condition 3rd having the characteristics of Marshall and of the nature of permeability better than a mixture of layers pavement asphalt porous on condition first and the 2nd, so that a mixture of layers pavement will is more resistant to deformation like a wave, rutting, and bleeding so as to have durability of a far better.

Keyword: asphalt porous, *steel slag*, *additive*

PENDAHULUAN

Jalan merupakan infrastruktur yang paling utama dalam menggerakkan roda perekonomian negara baik tingkat nasional ataupun daerah, mengingat penting dan strategisnya fungsi jalan untuk mendorong distribusi barang dan jasa sekaligus mobilitas penduduk.

Ketersediaan suatu jalan merupakan syarat terpenting untuk masuknya investasi ke suatu wilayah. Jalan memungkinkan seluruh masyarakat mendapatkan akses pelayanan publik yang memadai, untuk itu diperlukan perencanaan struktur perkerasan jalan yang kuat, tahan lama dan mempunyai daya tahan tinggi terhadap

deformasi plastis yang terjadi akibat beban kendaraan yang melintas.

Kerusakan jalan yang terjadi di Indonesia umumnya disebabkan oleh besarnya beban yang membebani jalan, tingginya arus kendaraan yang lewat dikarenakan pertumbuhan jumlah kendaraan yang tinggi dan perubahan kondisi lingkungan atau fungsi drainase yang kurang baik. Faktor inilah sebagai penyebab utama kerusakan perkerasan jalan ini menuntut penggunaan material untuk perkerasan jalan (beton aspal) dengan kualitas yang lebih tinggi, yang berupa material agregat sebagai bahan pengisi maupun aspal sebagai bahan pengikat.

Aspal porus merupakan lapisan yang dapat ditembus oleh air (*permeable*) yang berfungsi mengurangi beban drainase pada permukaan perkerasan jalan. Akibat lapisan permukaan yang bersifat *permeable*, maka lapisan di bawah aspal porus harus lapisan yang bersifat kedap air (*impermeable*) untuk melindungi lapisan dibawahnya dari air sehingga tidak merusak struktur perkerasan jalan. Campuran aspal porus memiliki agregat halus yang rendah atau lebih sedikit dari pada campuran aspal konvensional (*dense graded asphalt*), sehingga menghasilkan rongga yang besar bersifat *permeable*. Aspal porus memiliki beberapa kelebihan antara lain mengurangi beban air permukaan, mengurangi tingkat kebisingan yang ditimbulkan oleh kendaraan, serta tidak membahayakan bagi pengguna jalan dikarenakan aspal porus memiliki tingkat kekesatan (*skid resistance*) yang tinggi, sehingga roda tidak mudah slip saat berkendara dengan kecepatan tinggi.

Pencampuran aspal porus dilakukan dengan metode campuran panas (*hot mix*). Di Indonesia Campuran panas (*hot mix*) telah lama digunakan, baik untuk kegiatan peningkatan maupun pembuatan jalan baru. Campuran panas adalah campuran yang terdiri atas kombinasi agregat yang dicampur dengan aspal pada suhu yang telah ditentukan. Kelebihan dari pencampuran panas ialah membuat permukaan agregat terselimuti aspal dengan seragam atau merata, sehingga kelekatan antar agregat dapat menyatu dengan sempurna.

Slag merupakan limbah yang diperoleh dari proses pengolahan baja pada proses tanur tinggi. Indonesia merupakan negara yang berkembang dalam industri baja, pada tahun 2010 Indonesia menghasilkan limbah *slag* yang cukup tinggi sekitar 800 ribu ton/tahun (Leksminingsih dkk, 2011)

Menurut Leksminingsih dkk (2011), “Slag digolongkan sebagai limbah B3 maka dalam pemanfaatannya harus mengikuti UU Lingkungan Hidup No. 32 tahun 2009, bahan slag telah dinyatakan bebas B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), menurut The Federal Register Vol. 45 no. 98 tahun 1980, telah dilakukan pengujian terhadap bahan slag dengan metode EPA standard, yang menyatakan slag tidak berbahaya dengan hasil sebagai berikut : tidak mudah terbakar, mempunyai pH 7,9 (tidak korosif), tidak bersifat reaktif dan bersifat racun yaitu mengandung sianida atau sulfide, cairan pencuci slag (*lechate*) adalah 100 kali dibawah standar air minum (persyaratan racun adalah 10 kali dibawah persyaratan air minum)”.

Hasil penelitian sebelumnya menyatakan bahwa pada keadaan lalu lintas berat tidak terjadi kerusakan, mempunyai daya adhesi yang tinggi terhadap aspal karena agregat slag mempunyai permukaan yang kasar, sehingga kekesatannya lebih tinggi daripada agregat standar, tahan terhadap pelapukan, karena telah mengalami pemanasan yang tinggi, dapat digunakan untuk berbagai macam konstruksi perkerasan jalan (Hecket, 2001)

Peneliti terdorong untuk memanfaatkan *slag* sebagai bahan substitusi agregat halus dalam campuran aspal porus. Sehingga dengan pemanfaatan *slag* sebagai substitusi agregat halus, diharapkan menghasilkan perpaduan yang baik antara agregat kasar, agregat halus, dan aspal yang nantinya akan diperoleh lapisan permukaan yang lentur dan dapat mendukung beban lalu lintas dengan baik dan nyaman tanpa mengalami deformasi atau kerusakan yang berarti dalam jangka waktu tertentu yang merupakan kelemahan dari aspal porus.

Slag yang digunakan berasal dari PT. Ispatindo Kabupaten Sidoarjo yang memiliki kandungan silika dan karbon yang tinggi dengan prosentase masing-masing 4,5% silika dan 80,49% karbon, sehingga *slag* ini juga diharapkan dapat meningkatkan kekakuan pada bahan ikat perkerasan sehingga lebih ekonomis dalam pembuatan aspal porus, dengan hipotesa tersebut diharapkan dapat meningkatkan *marshall properties* dan permeabilitas dari campuran aspal porus.

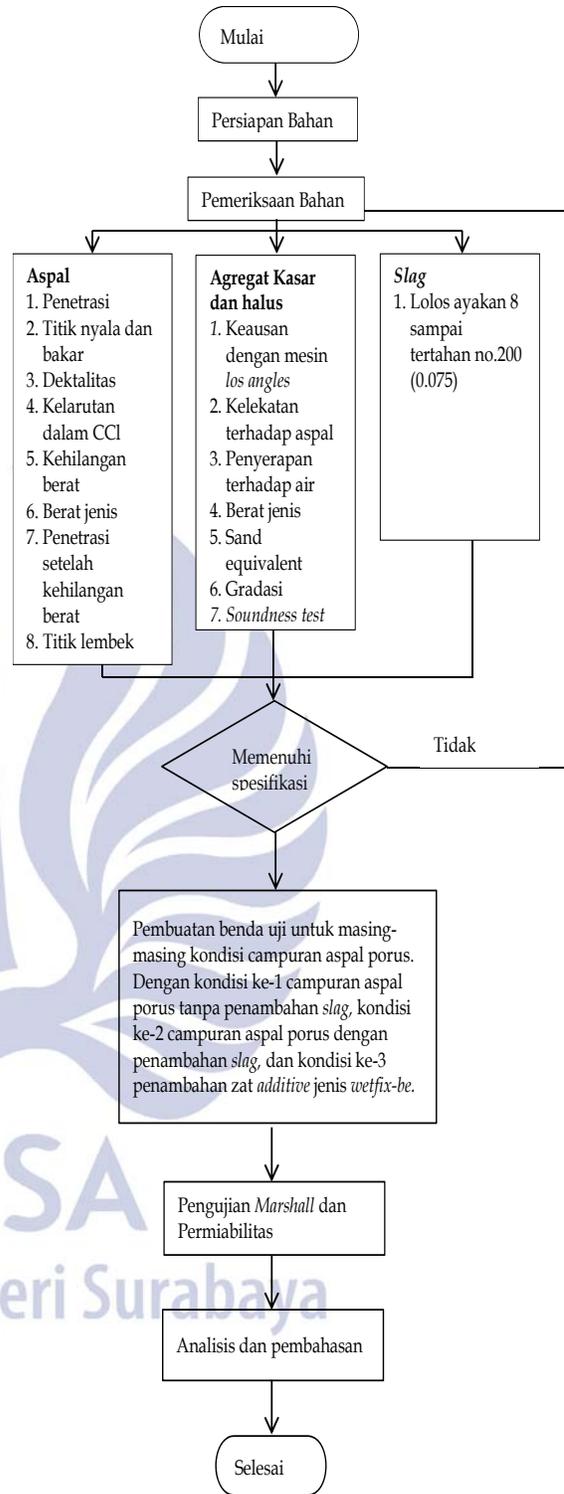
Teknologi perkerasan jalan yang semakin berkembang serta penggunaan limbah yang ramah lingkungan, khususnya dalam hal penggunaan aspal porus di Indonesia, maka perlu dilakukan suatu pengujian awal pada skala laboratorium. Pengujian akan dilakukan pada jenis campuran panas (*hot mix*) selanjutnya ditinjau *marshall properties* dan permeabilitas dari campuran aspal porus. Maka peneliti mengambil judul penelitian “Pengaruh Penambahan *Slag* Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Marshall dan Permeabilitas Pada Campuran Panas (*Hot Mix*) Aspal Porus”.

Penelitian yang dilaksanakan memiliki tujuan untuk: Mengetahui pengaruh penambahan *slag* sebagai bahan substitusi agregat halus terhadap karakteristik *marshall* dan permeabilitas dari campuran panas (*hot mix*) aspal porus.

METODE

A. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan dari beberapa kegiatan yang prosesnya dimulai dari kegiatan memperoleh data hingga data tersebut bisa digunakan sebagai dasar untuk membuat keputusan, dan untuk membuat keputusan tersebut diantaranya melalui proses yang disebut dengan proses pengumpulan data, proses pengolahan data, proses analisa data dan cara pengambilan keputusan secara umum berdasarkan hasil penelitian. Garis besar tahapan pelaksanaan penelitian secara umum dapat dilihat pada *flowchart* dibawah ini:



Gambar 1. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

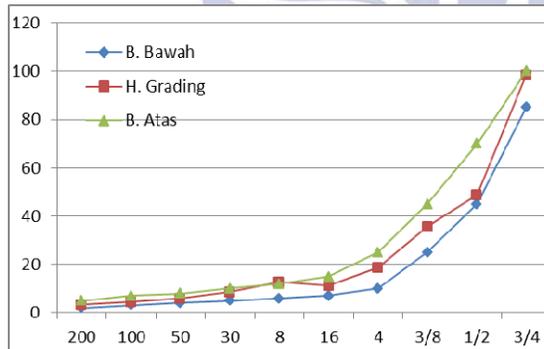
A. Kondisi ke-1

Sebelum dilakukan pembuatan benda uji *Marshall* dan permeabilitas, dilakukan pengujian analisis ayak,

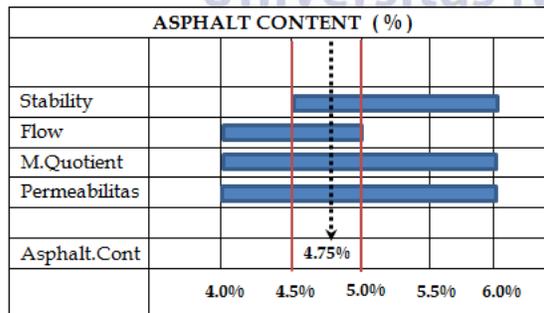
baik untuk agregat kasar, halus maupun abu batu. Dari analisis ayak agregat-agregat tersebut dibuat gradasi gabungan untuk campuran panas aspal porus sesuai Spesifikasi AAPA 2004 dan disajikan dalam Tabel 6 dan Grafik 2.

Tabel 1. Gradasi Gabungan Spesifikasi AAPA 2004

| Sieve No | Hot bin III | Hot bin II | Hot bin I | Filler | Total | SPEK AAPA 2004 |
|----------|-------------|------------|-----------|--------|-------|----------------|
| | 0.65 | 0.15 | 0.18 | 0.02 | | |
| 1 ° | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3/4 ° | 97.4 | 100 | 100 | 100 | 98.31 | 85 - 100 |
| 1/2 ° | 21.1 | 100 | 100 | 100 | 55.76 | 45 - 70 |
| 3/8 ° | 5.2 | 82.5 | 99.1 | 100 | 35.59 | 25 - 45 |
| 4 | 0.6 | 11.3 | 81.6 | 100 | 18.77 | 10 - 25 |
| 8 | 0 | 4.1 | 56.1 | 100 | 12.71 | 7 - 15 |
| 16 | 0 | 2.6 | 49.1 | 100 | 11.23 | 6 - 12 |
| 30 | 0 | 1.7 | 35.1 | 100 | 8.57 | 5 - 10 |
| 50 | | | 21.9 | 100 | 5.94 | 4 - 8 |
| 100 | | | 13.9 | 99.25 | 4.49 | 3 - 7 |
| 200 | | | 7.1 | 99.1 | 3.26 | 2 - 5 |



Gambar 2. Gradasi Campuran Spesifikasi AAPA 2004



Gambar 3. Grafik Hubungan Karakteristik Marshall dan permeabilitas Kondisi ke-1

Dari pengujian Marshall dan permeabilitas kondisi ke-1, sesuai dengan Spesifikasi AAPA 2004 ditentukan kadar aspal optimum (KAO). Dari Gambar 4.4, dapat dilihat KAO untuk kondisi ke adalah 4.75%.

Tabel 2. Hasil Tes Marshall dan permeabilitas KAO Kondisi ke-1

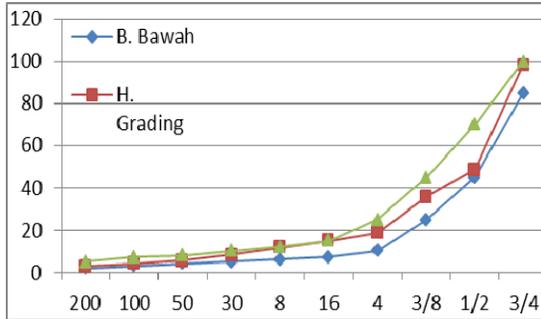
| No. | Parameter Marshall | Sat. | Spek. | Kadar Aspal Optimum 4,75 % |
|-----|--------------------------------------|-------|-----------|----------------------------|
| 1 | Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM) | % | 18-25 | 7.990 |
| 2 | Stabilitas Marshaall (MS) | Kg | Min. 500 | 511 |
| 3 | Kelelahan Marshall (Flow) | Mm | 2 - 6 | 3.0 |
| 4 | Kekakuan Marshall (MQ) | Kg/mm | Maks. 400 | 170.33 |
| 5 | Permiabilitas | Cm/dt | Min. 0,1 | 0.4006 |

B. Kondisi ke-2

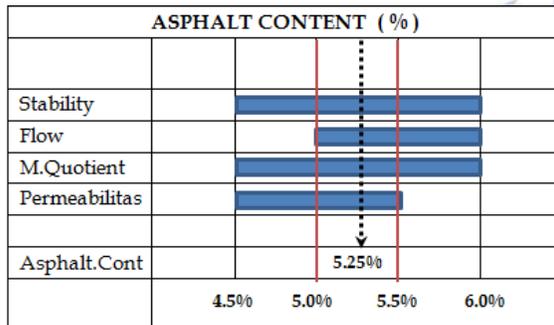
Menentukan kadar slag optimum sebagai bahan substitusi agregat halus dengan melakukan grading pada campuran material agregat halus dan slag sesuai ketentuan gradasi AAPA 2004, variasi perbandingan slag dan agregat halus yang dapat digunakan ialah 25% slag dan 75% agregat halus.

Tabel 3. Gradasi Gabungan 25% slag standar AAPA 2004

| Sieve No | Hot bin III | Hot bin II | Hot bin I | Filler | Total | SPESIF IKASI AAPA 2004 |
|----------|-------------|------------|-----------|--------|-------|------------------------|
| | 0.65 | 0.15 | 0.18 | 0.02 | | |
| 1 ° | 100 | 100 | 100 | 100 | 100.0 | 100 |
| 3/4 ° | 97.4 | 100 | 100 | 100 | 98.3 | 85 - 100 |
| 1/2 ° | 21.1 | 100 | 100 | 100 | 48.7 | 45 - 70 |
| 3/8 ° | 5.2 | 82.5 | 99.1 | 100 | 35.6 | 25 - 45 |
| 4 | 0.6 | 11.3 | 81.6 | 100 | 18.8 | 10 - 25 |
| 8 | 0 | 4.1 | 68.4 | 100 | 14.9 | 7 - 15 |
| 1 ° | 100 | 100 | 100 | 100 | 100.0 | 100 |
| 50 | | | 19.8 | 100 | 5.6 | 4 - 8 |
| 100 | | | 11.2 | 99.25 | 4.0 | 3 - 7 |
| 200 | | | 4.9 | 99.1 | 2.9 | 2 - 5 |



Gambar 4. Gradasi Campuran 25% slag Spesifikasi AAPA 2004



Gambar 5. Grafik Hubungan Karakteristik Marshall dan permeabilitas Kondisi ke-2

Didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) 5.25% dibuat 4 benda uji dengan menggunakan KAO dan Kadar Slag Optimum (KSO) yang telah ditemukan kedalam campuran aspal porus. Hasil pengujian marshall dan permeabilitas dapat dilihat pada Table 7.

Tabel 4. Hasil Tes Marshall dan permeabilitas KAO Kondisi ke-2

| No. | Parameter Marshall | Sat. | Spek. | Kadar Aspal Optimum 5,25 % |
|-----|--------------------------------------|-------|-----------|----------------------------|
| 1 | Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM) | % | 18-25 | 4.573581 |
| 2 | Stabilitas Marshall (MS) | Kg | Min. 500 | 570 |
| 3 | Kelelahan Marshall (Flow) | Mm | 2 - 6 | 3.2 |
| 4 | Kekakuan Marshall (MQ) | Kg/mm | Maks. 400 | 178.09 |
| 5 | Permeabilitas | Cm/dt | Min. 0,1 | 0.4031 |

C. Kondisi ke-3

Berdasarkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk kadar slag optimum pada kondisi ke-2, dibuat benda uji dengan variasi penambahan kadar additive antara lain 0,2%, 0,25%, dan 0,3%. Setiap variasi kadar additive masing-masing dibuat 4 benda uji dan dipadatkan 50 kali pada masing-masing sisi. Hasil pengujian marshall dan permeabilitas dapat dilihat pada Table 8.

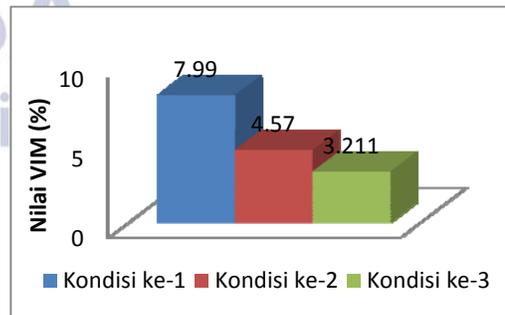
Tabel 5. Hasil Tes Marshall dan permeabilitas KAO Kondisi ke-3

| No. | Parameter Marshall | Sat. | Spek. | Kadar Additive (%) | | |
|-----|--------------------------------------|-------|-----------|--------------------|-------|-------|
| | | | | 0.2 | 0.25 | 0.3 |
| 1 | Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM) | % | 18-25 | 3.211 | 2.846 | 3.130 |
| 2 | Stabilitas Marshall (MS) | Kg | Min. 500 | 653 | 587 | 674 |
| 3 | Kelelahan Marshall (Flow) | mm | 2 - 6 | 2.7 | 2.3 | 3.1 |
| 4 | Kekakuan Marshall (MQ) | Kg/mm | Maks. 400 | 241.9 | 255.2 | 217.4 |
| 5 | Permeabilitas | Cm/dt | Min. 0,1 | 0.424 | 0.345 | 0.438 |

D. Pembahasan 3 Kondisi Campuran Aspal Porus

1. Kadar Rongga Dalam Campuran (VIM)

Perbandingan nilai VIM tersebut dapat dibuat grafik dalam Gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 6. Perbandingan nilai VIM ke-3 Kondisi

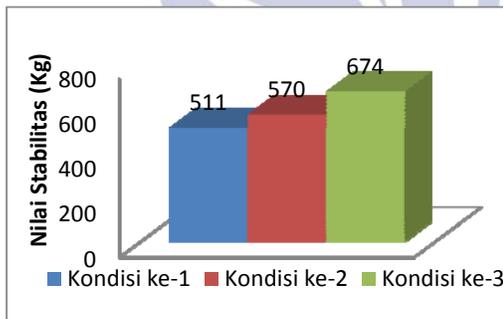
Dari Gambar 6 terlihat bahwa nilai VIM campuran aspal porus untuk semua tahapan tidak sesuai spesifikasi AAPA 2004 yaitu dengan nilai 18–25%, nilai VIM pada kondisi ke-1 lebih tinggi

bila dibandingkan dengan campuran aspal porus dengan penambahan *slag* pada kondisi ke-2, terjadi penurunan nilai VIM sebesar 42.8% dengan adanya penambahan *slag* sebagai bahan substitusi agregat halus.

Sedangkan untuk penambahan *additive* pada kondisi ke-3 semakin terjadi penurunan menjadi 3.211% yang artinya penambahan *additive* ini memiliki pengaruh negatif terhadap nilai VIM. Nilai VIM ini merupakan salah satu bagian dari indikator dari kemampuan aspal beton yaitu *Durability* (daya tahan) lapis perkerasan untuk mencegah keausan karena pengaruh lalu lintas selama umur rencana.

2. Nilai Stabilitas (*Stability*)

Perbandingan nilai Stabilitas tersebut dapat dibuat grafik dalam Gambar 7 sebagai berikut:



Gambar 7. Perbandingan nilai Stabilitas ke-3

Kondisi

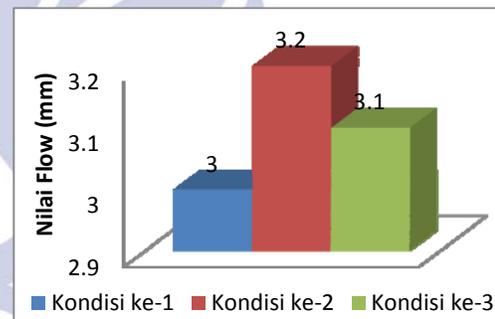
Dari Gambar 7 terlihat bahwa nilai Stabilitas campuran aspal porus untuk semua tahapan telah sesuai spesifikasi AAPA 2004 yaitu dengan nilai melebihi dari 500 kg, nilai Stabilitas pada kondisi ke-1 lebih rendah bila dibandingkan dengan campuran aspal porus dengan penambahan *slag* pada kondisi ke-2, terjadi kenaikan nilai stabilitas sebesar 11.55% dengan adanya penambahan *slag* sebagai bahan substitusi agregat halus.

Pada Gambar 7 juga dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada kondisi ke-3 didapatkan nilai

stabilitas terbesar dengan nilai 674 Kg pada kadar *additive* 0.3%. Terjadi kenaikan signifikan sebesar 18.25% dari sebelum ditambahkan bahan *additive*, lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi ke-1 dan kondisi ke-2, hal ini dikarenakan dengan penambahan zat *additive* pada campuran aspal porus mengakibatkan geseran antar agregat tidak terlalu tinggi, meningkatkan penguncian butir partikel (*interlock*) antar agregat dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal dengan agregat. Sehingga kondisi ke-3 tahan terhadap terjadinya perubahan seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*.

3. Nilai Kelelahan Plastis (*Flow*)

Perbandingan nilai *Flow* tersebut dapat dibuat grafik dalam Gambar 8 sebagai berikut:



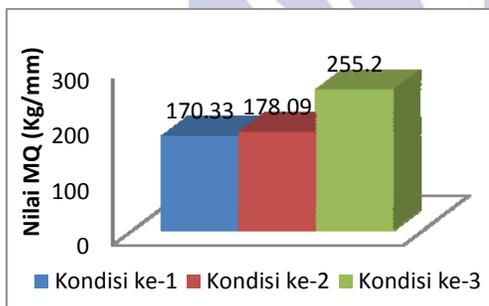
Gambar 8. Perbandingan nilai *Flow* ke-3 Kondisi

Dari Gambar 8 diatas terlihat bahwa nilai *Flow* campuran aspal porus untuk semua tahapan telah sesuai spesifikasi AAPA 2004 dengan nilai diantara 2-6 mm, nilai *Flow* pada kondisi ke-1 lebih rendah bila dibandingkan dengan campuran aspal porus dengan penambahan *slag* pada kondisi ke-2, terjadi kenaikan nilai *flow* sebesar 6.67% dengan adanya penambahan *slag* sebagai bahan substitusi agregat halus. Hal ini disebabkan karena dengan adanya penambahan *slag* pada kondisi ke-2 campuran aspal porus memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi disebabkan oleh gradasi dari agregat yang ditambahkan *slag* lebih baik dari pada tanpa penambahan.

Dapat dilihat juga pada Gambar 8 bahwa nilai *Flow* pada kondisi ke-3 didapatkan nilai terbesar dengan nilai 3.1 mm pada kadar *additive* 0.3%. Tahap ke-3 dengan penambahan *additive* memiliki nilai *flow* yang lebih rendah disebabkan campuran aspal porus memiliki tingkat kelenturan lapisan yang rendah dan bersifat getas akibat penambahan zat *additive*. Nilai *flow* campuran kondisi ke-2 bersifat elastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal dan viskositas aspal, gradasi, suhu, dan jumlah pemadatan.

4. Kekakuan Marshall (*MQ*)

Perbandingan nilai *MQ* tersebut dapat dibuat grafik dalam Gambar 9 sebagai berikut:



Gambar 9. Perbandingan nilai *Flow* ke-3 Kondisi

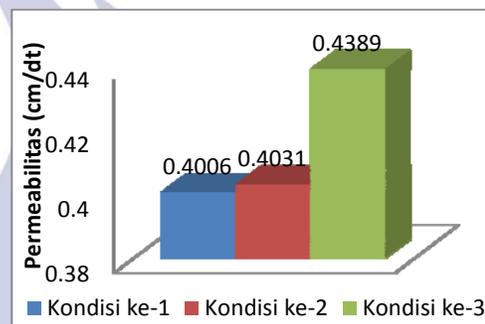
Pada Gambar 9 diatas terlihat bahwa nilai *MQ* campuran aspal porus untuk semua tahapan telah sesuai spesifikasi AAPA 2004 dengan nilai diantara dibawah standar 400 kg/mm, nilai *MQ* pada kondisi ke-1 lebih rendah bila dibandingkan dengan campuran aspal porus dengan penambahan *slag* pada kondisi ke-2, terjadi kenaikan nilai *MQ* sebesar 4.55% dengan adanya penambahan *slag* sebagai bahan substitusi agregat halus. hal ini juga terjadi pada kondisi ke-3 dimana nilai *MQ* mengalami peningkatan yang signifikan menjadi 255.2 kg/mm.

Campuran kondisi ke-1 yang memiliki nilai *MQ* rendah, dapat dikatakan bahwa campuran aspal beton campuran panas semakin *fleksibel*

dan akan cenderung menjadi plastis dan lentur, sehingga mudah berubah bentuk (*deformasi*) apabila menahan beban lalu lintas tinggi dan berat. Sedang aspal beton campuran panas yang memiliki *MQ* tinggi pada kondisi ke-3 yang menunjukkan bahwa campuran aspal porus adalah kaku.

5. Permeabilitas

Perbandingan nilai Permeabilitas tersebut dapat dibuat grafik dalam Gambar 10 sebagai berikut:



Gambar 10. Perbandingan nilai Permeabilitas ke-3 Kondisi

Pada Gambar 10 diatas terlihat bahwa nilai Permeabilitas campuran aspal porus untuk semua tahapan telah sesuai spesifikasi AAPA 2004 dengan nilai diatas dari standar yaitu 0.1 cm/dt, nilai permeabilitas pada kondisi ke-1 memiliki nilai 0.4006 cm/dt lebih rendah bila dibandingkan dengan campuran aspal porus dengan penambahan *slag* pada kondisi ke-2 dengan nilai 0.4031 cm/dt tetapi peningkatan yang terjadi tidak terlalu besar, yang artinya penambahan *slag* sebagai substitusi agregat halus tidak terlalu berpengaruh secara signifikan.

Pada kondisi ke-3 memiliki nilai permeabilitas tertinggi dari semua kondisi campuran dengan nilai terbesar pada penambahan *additive* 0.3% sebesar 0.4389 cm/dt, namun kenaikan yang terjadi tidak signifikan yang

artinya penambahan *additive* ini tidak terlalu berpengaruh besar terhadap campuran aspal porus.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak PT. Merakindo Mix atas dukungan serta bantuan dari segi material dan alat pada penelitian ini.

PENUTUP

A. Simpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik *Marshall* pada kadar aspal optimum (KAO), campuran lapis perkerasan aspal porus pada kondisi ke-3 yang menggunakan *steel slag* dan bahan tambah *additive* wetfix-BE memiliki karakteristik lebih baik dibanding campuran lapis permukaan aspal porus pada kondisi ke-1 yaitu pada kondisi normal serta kondisi ke-2 yang menggunakan *steel slag* sebagai bahan substitusi agregat halus tanpa bahan tambah *additive*. Dibuktikan dengan nilai stabilitas pada kondisi ke-3 sebesar 674 kg lebih tinggi dibanding kondisi ke-1 dan kondisi ke-2 sehingga campuran lapis permukaan akan lebih tahan terhadap deformasi seperti gelombang, alur (*rutting*), serta *bleeding*. Nilai *MQ* pada kondisi ke-3 jauh lebih besar dibanding dengan kondisi ke-1 dan kondisi ke-2 sebesar 255,2 kg/mm, dapat diartikan bahwa nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan kemampuan lapis perkerasan aspal porus dapat menerima repetisi beban lalu lintas, gesekan roda kendaraan pada permukaan jalan dan kemampuan menahan keausan karena pengaruh perubahan temperature sehingga memiliki keawetan (*Durability*) yang jauh lebih baik.
2. Permeabilitas pada kondisi ke-1 dan kondisi ke-2 tidak terjadi kenaikan yang signifikan antara keduanya dengan nilai masing-masing 0,4006

cm/dt dan 0,4031 cm/dt, sedangkan kondisi ke-3 tidak terjadi peningkatan nilai permeabilitas yang signifikan untuk semua kadar zat *additive*, dengan nilai permeabilitas terbesar pada penambahan kadar presentase 0,3% yaitu 0,4389 cm/dt, sehingga kemampuan lapis perkerasan aspal porus pada kondisi ke-3 lebih baik dengan nilai permeabilitas yang lebih tinggi dibanding kondisi ke-1 dan kondisi ke-2 dapat diartikan lapis perkerasan lebih bersifat *permeable* dan dapat lebih cepat mengalirkan air permukaan.

3. Saran

Beberapa saran yang dapat disampaikan untuk lebih menyempurnakan hasil penelitian ini adalah:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan memperhatikan variasi kadar *steel slag* lebih dari 4 jenis variasi kadar *steel slag* sebagai bahan substitusi agregat halus yang digunakan pada campuran aspal porus dalam penelitian ini.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan memperhatikan kadar presentase zat *additive* 0,25% yang terjadi penyimpangan hasil karakteristik *Marshall* agar penelitian ini lebih sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous, Badan Standarisasi Nasional, 2003. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall RSNI M-01-2003.
- Anonimous, Australian Asphalt Pavement Association 2004. *National Asphalt Specification*.
- Anonimous, Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. 2010. Dokumen Pelelangan Nasional Pekerjaan Jasa Pelaksanaan Konstruksi (Pemborongan) Untuk Kontrak Harga Satuan BAB VII Spesifikasi Umum Devisi 6 Perkerasan Aspal.
- Anonimous, 2010. *Porous Asphalt Pavement Design, Construction and Maintenance*. Flexible pavement of OHIO America.

Anonimous, 2011. UNHSC Design Specifications For Porous Asphalt Pavement And Ilfiltration Beds. University of New Hampshire.

Diana. I, W., Siswsoebrotho. B, I, Karsaman. R. B. 2007. Sifat-sifat teknik dan permeabilitas pada aspal porus. Simposium III FSTPT, ISBN no. 979-96241-0-x.

Hardman. 2012. *Tinjauan Aspal Porus Dwilapisan Sebagai Lapis Permukaan Jalan Yang Ramah Dengan Lingkungan Perkotaan*. Skripsi tidak diterbitkan. Banda Aceh : PPs Universitas Syiah Kuala.

L. Soandrijanie JF. 2011. "Pengaruh Penggunaan *Copper Slag* Pada Beton Aspal". *Jurnal Teknik Sipil*.

Leksminingsih., Gunawan G., Oetojo Dharma Pantja., Kusuminingrum Nanny., Rahmawati Tri. 2011. Pemanfaatan Slag Baja Untuk Teknologi Jalan yang Ramah Lingkungan. Bandung : Pusjatan

Kamba Charles. 2014. *Karakteristik Aspal Porus Gradasi Australia Dengan Bahan Pengikat Substitusi Parsial Liquid Asbuton*. Tesis tidak diterbitkan. Makassar : PPs Universitas Hasanuddin.

Muh. Nashir, Herman Parung, Nur Ali dan Tri Hariyanto. 2011. "Kinerja Campuran Aspal Berpori Dengan Menggunakan Aspal Polimer Starbit Jenis E-55". Universitas Hasanudin. Makasar.

Ningsih Yuli Whurry Farida Ningsih. 2010. *Analisis penggunaan steel slag dan aspal penetrasi 60/70 sebagai campuran asphaltic concrete untuk perkerasan*. Tesis tidak diterbitkan. Surabaya : PPs Institut Teknologi Sepuluh November.

Purna Baja Heckett. 2001. PT. *Precious Slag Ball (PSB)*, Browsing internet, <http://pbhsteelslag.com/produk.php>

Sarwono Djoko, A. K. Wardhani. 2007. "Pengukuran Sifat Permeabilitas Campuran *Porous Asphalt*". *Jurnal Teknik Sipil*.

Zuliansyah Alfriady., A.Muiz Zulkarnain. 2011. *Pengaruh Penggunaan Rubberized Asphalt Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus*. *Jurnal Teknik Sipil*.