

PENGUKURAN SIFAT PERMEABILITAS CAMPURAN *POROUS ASPHALT*

Djoko Sarwono

Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik, UNS, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Telp 0271 643524 psw.127

Astuti Koos Wardhani

Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik, UNS, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Telp 0271 643524 psw.127

Abstract

Porous asphalt was developed to drain pavement surface flow through its pores, because of its specific properties. To measure its ability to drain the water (permeability), a special measuring device is required. This study is aimed to measure the coefficient of permeability using the fallinghead permeability test developed at Highway Laboratory, Sebelas Maret University. The results were compared with the previous study. The test included horizontal and vertical permeabilities. Three types of gradation were incorporated ie: British Gradation (BS), Non British Gradation (Black Valey Route / BVR) and Australian Gradation. The tests were carried out at optimum bitumen content. The result shows that the vertical permeability of Porous Asphalt using BS, BVR and Australian Gradation were: 0.0924, 0.2942 and 0.2918 cm/sec, respectively. Meanwhile for horizontal permeability were 0.1170, 0.3131, 0.2979 cm/sec, for BS, BVR and Australian Gradation respectively. The Marshall stabilities were at in contrary to the permeabilities, the porosity were comparable to the permeabilities. The similarity of the graph indicated that the permeability apparatus was quite sensitive to the measurement conducted.

Keywords:

gradation, optimum bitumen content, permeability, porosity

PENDAHULUAN

Salah satu tujuan pokok pelapisan permukaan jalan adalah peningkatan tingkat keselamatan pengguna jalan. Faktor pemicu kecelakaan lalu lintas diantaranya disebabkan oleh permukaan yang tidak dapat dengan sempurna mengalirkan air di permukaan terutama pada saat musim hujan, sehingga jalan menjadi licin.

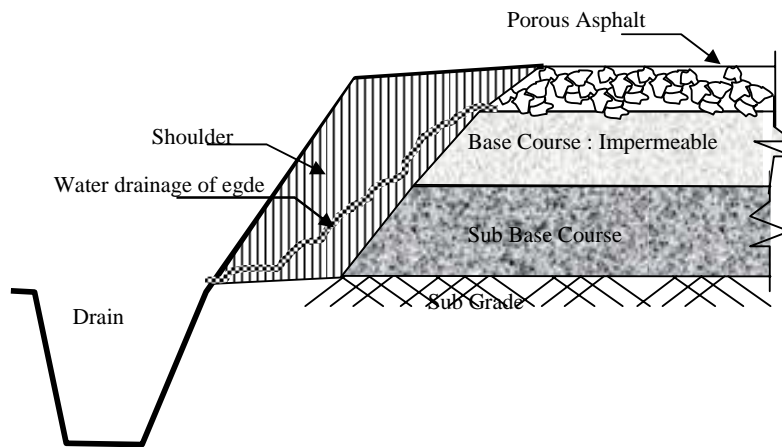
Seiring perkembangan teknologi konstruksi perkerasan jalan, didesain perkerasan untuk meningkatkan gaya gesek terutama untuk mencegah *aquaplaning* di *runway* lapangan terbang, (*Ministry of Defence*, 1998). Saat diterapkan untuk perkerasan jalan raya, dikenal dengan "*previous macadam*" dan kemudian hari dikenal dengan sebutan *Porous Asphalt/PA* (*British Standards Institution* 2001). *Porous Asphalt* adalah campuran aspal yang sedang dikembangkan untuk konstruksi *wearing course*. Campuran didominasi oleh agregat kasar, untuk mendapatkan pori yang cukup tinggi agar didapat permeabilitas PA yang tinggi, dimana permeabilitas difungsikan untuk *subsurface drain*.

Lapisan PA harus terletak di atas *basecourse* yang *impermeable*, susunan konstruksi menggunakan PA dan sistem *subsurface drain* seperti disajikan pada Gambar 1.

Alat uji permeabilitas yang ada di laboratorium Jalan Raya FT-UNS adalah *constant head permeability* lazim digunakan untuk pengujian permeabilitas campuran aspal dengan pori yang sangat kecil.

Konstruksi PA banyak terdapat pori (yang saling berhubungan), hal tersebut menjadi alasan mengapa alat uji permeabilitas yang tersedia kurang tepat untuk dipergunakan sebagai sarana mengukur koefisien permeabilitas PA, untuk itu perlu dibuat alat uji permeabilitas khusus untuk PA dan campurannya.

Permeabilitas adalah kemampuan media yang poros untuk mengalirkan fluida. Setiap material dengan ruang kosong diantaranya disebut poros, dan apabila ruang kosong itu saling berhubungan maka ia akan memiliki sifat permeabilitas. Maka batuan; beton; tanah; dan banyak material lain dapat merupakan material poros dan permeabel. Material dengan ruang kosong yang lebih besar biasanya mempunyai angka pori yang lebih besar pula. (Bowles, JE 1986).



Gambar 1 Drainase pada porous asphalt

Koefisien permeabilitas aspal dihitung berdasarkan Hukum Darcy. (Kandall dan Mallick, 2001). Metode untuk mengukur besarnya permeabilitas yaitu *falling head permeability (FHP)* dimana air di dalam tabung (*stand pipe*) jatuh bebas dengan ketinggian tertentu sampai melewati rongga pada campuran porous asphalt. Metode lain untuk mengukur permeabilitas yaitu *constant head permeability (CHP)*, (Takahashi & Part, 1999).

Porous Asphalt didefinisikan sebagai jenis perkerasan yang didesain untuk memperoleh angka pori yang tinggi (28-32 %). (Setyawan et all, 2002). Selanjutnya Setyawan juga melakukan pengujian untuk permeabilitas yang dilakukan dengan metoda *fallinghead permeability* dan menghasilkan permeabilitas sebesar 1.61×10^{-3} m/dt bahkan dapat diaplikasikan untuk *grouted macadam* (Setyawan, 2005)

Pengujian permeabilitas di UK dengan gradasi *PA British Standard (BS)*, Porositas rata-rata : 17,3%, dan Stabilitas : 10,8 KN dengan menggunakan metode *FHP* didapat nilai koefisien permeabilitas rata-rata: 0,153 cm/dt, (Cabrera dan Hamzah, 1994) dan koefisien permeabilitas >25m/hari menggunakan metode *FHP*. (Khalid dan Jemenez, 1994). Pengujian di lab. EMPA

Switzerland, menggunakan *Swiss Gradation* dengan porositas (VIM) sebesar 21,6%, dan metode *FHP* menghasilkan koefisien permeabilitas sebesar 1,112 cm/dt (Manfred N. Partl dan Takahashi, 1999.) Sementara itu pada tahun 2002, di *Sultan Qaboos University, Muscat, Sultanate of Oman* oleh H.F Hassan dan R.Taha juga telah dilakukan uji permeabilitas pada *PA* dengan gradasi *NCAT* oleh Kandhal dan Malick pada tahun 1999, dengan menggunakan metode *CHP*, didapat nilai koefisien permeabilitas sebesar 0,051 cm/dt (Hassan & Taha, 2002)

Pengujian permeabilitas *PA* di Fakultas Teknik Unila Lampung, menggunakan gradasi Australia dengan metode *FHP*, dengan agregat maksimum 14 mm dan 10 mm didapat koefisien permeabilitas 1,199 cm/dt dan 0,228 cm/dt dan kombinasinya sebesar 0,444cm/dt (Utomo, 2002) dan agregat maksimum 20 mm didapat koefisien permeabilitas sebesar 1,15 cm/dt (Elmasari, 2002).

Gradasi dan ukuran butir, akan berpengaruh pada rongga dan jenis rongga yang terbentuk pada campuran, gradasi *PA* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *British Standard (BS)*, *Blackwater Valley Route (BVR)*, dan gradasi Australia.

Tabel 1. Gradasi BS dan BVR dan Modifikasi Sieve

| Ukuran Saringan (mm) | % Lolos | | | | |
|----------------------|---------|----------|---------|---------|-------|
| | 14 | 10 | 6,3 | 3,35 | 0,75 |
| BS ¹⁾ | 100 | 90 - 100 | 40 - 55 | 22 - 28 | 3 - 6 |
| BVR ²⁾ | 100 | 90 - 100 | 40 - 55 | 8 - 16 | 3 - 6 |
| BS | 100 | 91 | 31 | 22 | 5 |
| BVR | 100 | 89 | 20 | 9 | 4 |

Sumber : ¹⁾ Takahasi, 1999, ²⁾ Setyawan, 2003

Tabel 2. Gradasi Australia

| | % Lolos | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------|------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|------|-------|
| # (mm) | 19 | 13.2 | 9.5 | 6.7 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
| Asli ¹⁾ | 100 | 95 | 50 | 27 | 11 | 9 | 8 | 6.5 | 5.5 | 4.5 | 3.5 |
| # (mm) | 19 | 12.7 | 9.5 | - | 4.75 | 2.36 | - | 0.3 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
| Modifikasi | 100 | 95 | 50 | | 11 | 9 | | 5.5 | 5.5 | 4.5 | 3.5 |

Sumber :¹⁾ Yuliati,2003

Nilai porositas dihitung menggunakan rumus densitas yang menunjukkan kepadatan campuran PA, seperti ditunjukkan dalam persamaan [1].

$$D = \frac{4Ma}{\pi d^2 L} \dots\dots\dots[1]$$

dimana,

- D = Densitas spesimen (gr/cm²),
- d = Diameter spesimen (cm)
- Ma = Berat spesimen di udara (gr)
- L = Rata-rata tebal spesimen (cm)

Specific Gravity Campuran, menunjukkan berat jenis campuran.

$$SG_{mix} = \frac{100}{\frac{\%W_a}{SG_a} + \frac{\%W_f}{SG_f} + \frac{\%W_b}{SG_b}} \dots\dots\dots[2]$$

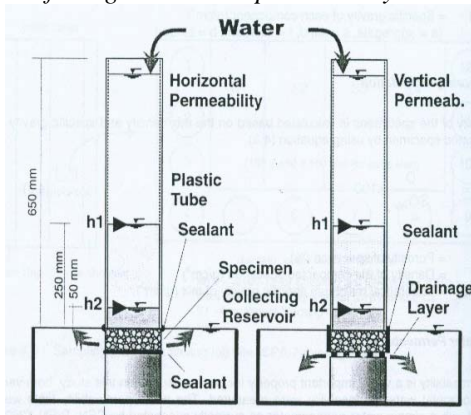
dimana,

- Sg_{mix} = Specific Gravity campuran (gr/cm³)
- %W = % Berat tiap komponen
- SG = Specific Gravity komponen (gr/cm³)

Porositas (P)/ Void in mix (VIM), benda uji dihitung berdasarkan densitas dan specific gravity dari benda uji yang dipadatkan, dinyatakan dalam %:

$$P = \left[1 - \frac{D}{SG_{mix}} \right] \times 100 \dots\dots\dots[3]$$

Water Permeability Test, Tipe dari tes permeabilitas ini yaitu falling head water permeability test.



Gambar 2. Water permeability test

Permeabilitas vertikal dan permeabilitas horisontal dapat dihitung dengan rumus :

$$k = 2,3 \frac{aL}{At} \times \left[\log \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \right] \dots\dots\dots[4]$$

dimana,

- k = Koefisien permeabilitas air (cm/s),
- a = Luas potongan melintang tabung (cm²)
- L = Tebal spesimen (cm),
- A = Luas potongan specimen (cm²)
- t = Waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari h₁ ke h₂ (s)
- h₁ = Tinggi batas air paling atas pada tabung (cm)
- h₂ = Tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm)

METODE

Penelitian menggunakan metode eksperimental di laboratorium, dan dibagi dalam tiga pentahapan sebagai berikut. Tahap I menentukan kadar aspal optimum untuk masing masing gradasi dengan metode Marshall, benda uji (BU) untuk mencari kadar aspal optimum dibuat 5 variasi kadar aspal, dan tiap variasi dibuat 3 BU. Tahap II untuk pengujian permeabilitas, untuk setiap jenis gradasi dibuat 5 BU pada kadar aspal optimum (total 15 BU), pada masing BU dilakukan perhitungan volumetric, uji permeabilitas horizontal dilanjutkan uji permeabilitas vertikal. Tahap III dilakukan perhitungan dan analisa serta penarikan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Aspal Optimum, hasil kadar aspal optimum untuk gradasi BS yaitu 4,5% , gradasi BVR 4,5% sedang gradasi Australia 5,5%.

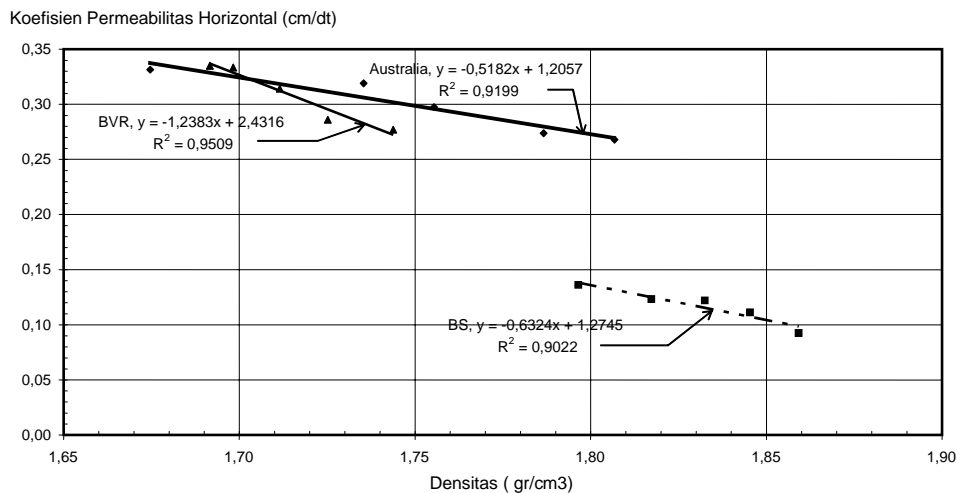
Hasil perhitungan volumetrik porositas/void in mix (VIM), perhitungan stabilitas dan pengujian permeabilitas seperti disajikan dalam Tabel 3, Hubungan koefisien permeabilitas dengan porositas densitas dan stabilitas disajikan pada Gambar 3 s/d Gambar 8.

Tabel 3 : Hasil Perhitungan dan Pengujian Permeabilitas

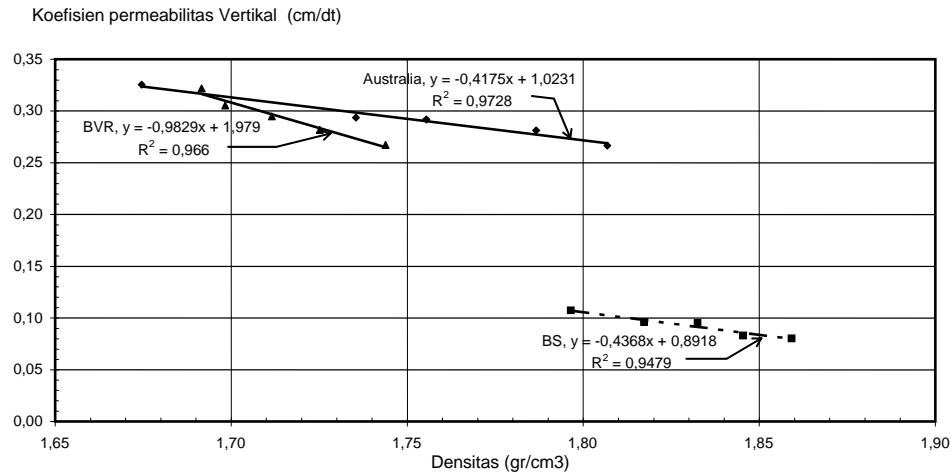
| No. | Gradasi | kode aspal | Densitas D (gr/cm3) | Porositas/ VIM (%) | kh (cm/dt) | kv (cm/dt) | Stabilitas (kg) |
|-----|-------------------------------|------------|---------------------|--------------------|------------|------------|-----------------|
| 1 | Australia | A1 | 1,7354 | 30,2852 | 0,3191 | 0,2936 | 258,9821 |
| 2 | | A2 | 1,8068 | 27,2174 | 0,2678 | 0,2666 | 311,0679 |
| 3 | | A3 | 1,7866 | 28,2291 | 0,2738 | 0,2813 | 293,7142 |
| 4 | | A4 | 1,7554 | 29,4845 | 0,2974 | 0,2919 | 269,4654 |
| 5 | | A5 | 1,6746 | 32,7266 | 0,3314 | 0,3254 | 237,1752 |
| 6 | British standard (BS) | S10 | 1,8173 | 28,0904 | 0,1231 | 0,0961 | 270,1896 |
| 7 | | S11 | 1,8454 | 26,9792 | 0,1113 | 0,0831 | 308,7501 |
| 8 | | S12 | 1,8592 | 26,4316 | 0,0925 | 0,0803 | 332,2033 |
| 9 | | S13 | 1,8325 | 27,4915 | 0,1219 | 0,0951 | 284,2395 |
| 10 | S14 | 1,7965 | 28,1949 | 0,1360 | 0,1074 | 235,9133 | |
| 11 | Blackwater Valley route (BVR) | V10 | 1,7252 | 31,7362 | 0,2859 | 0,2818 | 275,2098 |
| 12 | | V11 | 1,7438 | 30,9966 | 0,277 | 0,2672 | 291,0709 |
| 13 | | V12 | 1,6983 | 32,7997 | 0,3333 | 0,3053 | 258,1211 |
| 14 | | V13 | 1,7115 | 32,2788 | 0,3142 | 0,2949 | 263,648 |
| 15 | | V14 | 1,6916 | 33,0634 | 0,335 | 0,3218 | 251,3195 |

Hubungan antara koefisien permeabilitas horisontal (kh) serta koefisien permeabilitas vertikal (kv) dan densitas berbanding berbalik, dengan demikian semakin besar densitas akan mengurangi efektifitas fungsi porous aspal (lihat Gambar 3 dan 4). Oleh sebab untuk mendapatkan nilai kh; kv; dan stabilitas yang tinggi perlu dilakukan modifikasi binder misalnya dengan EVA atau SBS.

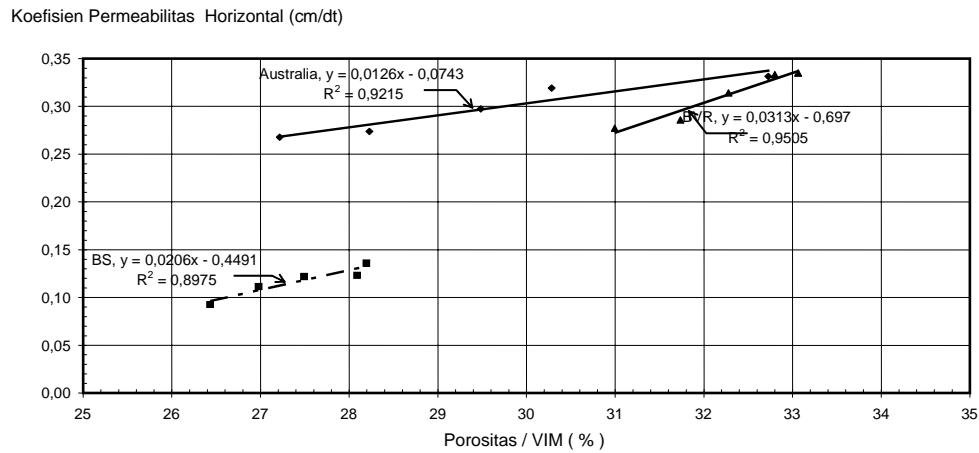
Dari grafik teramati besarnya kv lebih kecil dibanding kh, dimungkinkan karena proses pemadatan benda uji menggunakan metode impact (lebih kearah vertikal) bukan vibrator, sehingga kemungkinan rongga yang saling terhubung/ *interconnecting* lebih banyak kearah horisontal.



Gambar 3. Hubungan koefisien permeabilitas horisontal dan densitas



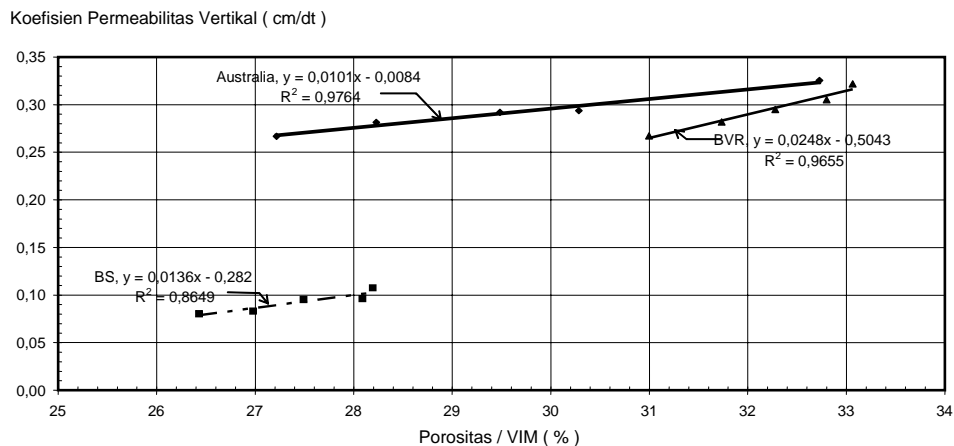
Gambar 4. Hubungan koefisien permeabilitas vertikal dan densitas



Gambar 5. Hubungan koefien permeabilitas horisontal dan porositas

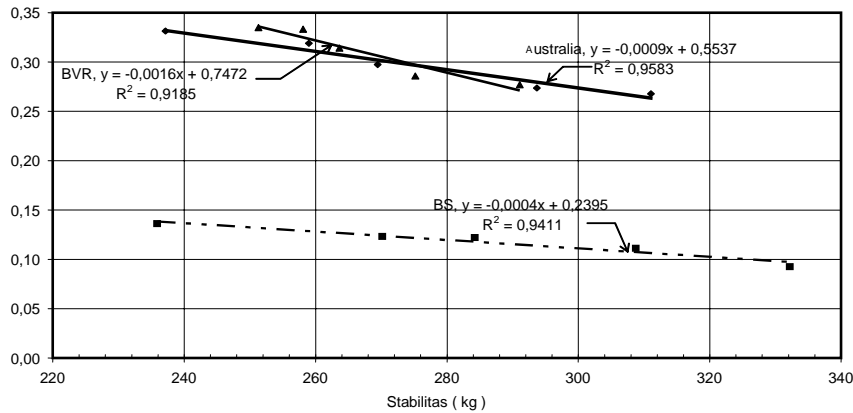
Hubungan antara koefisien permeabilitas dan porositas berbanding lurus. Porositas gradasi BVR lebih besar sehingga koefisien permeabilitas BVR paling besar. Koefisien permeabilitas BS lebih kecil dari pada BVR dan Australia, sedangkan Australia lebih kecil daripada BVR.

Dari sisi penggunaan agregat BVR relatif lebih kasar dibanding yang lain, hal ini berkorelasi positif terhadap terbentuknya pori saling terhubung, yang akhirnya berpengaruh pada besarnya koefisien permeabilitas terjadi



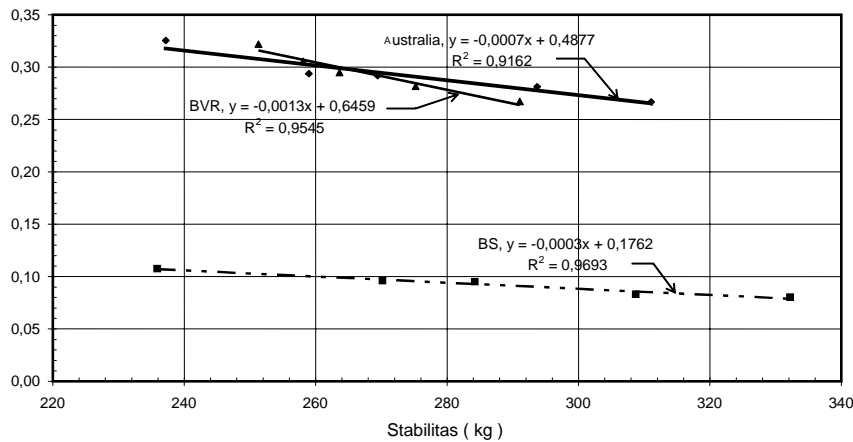
Gambar 6. Hubungan koefisien permeabilitas vertikal dan porositas

Koefisien Permeabilitas Horizontal (cm/dt)



Gambar 7. Hubungan koefisien permeabilitas horisontal dan stabilitas

Koefisien Permeabilitas Vertikal (cm/dt)



Gambar 8. Hubungan koefisien permeabilitas vertikal dan stabilitas

Kepekaan hasil pengukuran permeabilitas *PA* juga sudah dapat dilihat dari tren Gambar 3 s/d 8. Dibuktikan dengan permeabilitas berbanding lurus dengan porositas, berbanding terbalik dengan densitas dan berbanding terbalik dengan stabilitas, juga nilai koefisien permeabilitas setiap benda uji pada gradasi yang sama simpangannya tidak terlalu besar (nilai R^2 berkisar 89% s/d 97%).

Alat yang dikembangkan dan digunakan juga lebih praktis karena menggunakan sistem klem bukan dempul atau silicon atau bahan satu kali pakai lain yang digunakan sebagai *seal*, sehingga alat lebih awet/ekonomis.

Perbandingan dengan percobaan pengukuran permeabilitas pada *PA* yang pernah dilakukan di beberapa tempat disajikan dalam Tabel 4

Tabel 4. Perbandingan kh pada gradasi Australia - kv pada gradasi BS dan BVR

| Laboratorium penguji | Porositas (VIM) | Koef. Permeabilitas Horisontal (kh) | Koef. Permeabilitas Vertikal (kv) |
|---|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| | % | cm/dt | cm/dt |
| Universitas Sebelas Maret (gradasi BS) | 27.58 | - | 0.0924 |
| Di UK, (gradasi BS) ¹⁾ | 17.30 | - | 0.153 |
| Universitas Sebelas Maret (gradasi Australia) | 29.63 | 0.2979 | - |
| Unila (gradasi Australia) ²⁾ | 21.50 | 1.1990 | - |
| Universitas Sebelas Maret (gradasi BVR) | 32.18 | - | 0.2942 |
| Ary Setyawan (gradasi BVR) ³⁾ | 27.44 | - | 1.57 |

Sumber : ¹⁾Cabrera dan Hamzah, 1994, ²⁾Nita Yulianti, 2003, ³⁾Setyawan Ary, 2003

Dari keseluruhan hasil perbandingan perhitungan koefisien permeabilitas yang sudah pernah dilakukan, dapat dilihat bahwa hasil perhitungan koefisien permeabilitas di UNS semuanya lebih kecil walaupun pori dari campuran yang dibuat lebih besar. Hal ini dapat disebabkan karena:

- [1] Kadar pori (VIM) yang semakin besar tidak selamanya akan menghasilkan koefisien permeabilitas yang besar pula, karena ada kemungkinan pori yang terbentuk tidak semuanya *interconnecting* atau saling berhubungan, sehingga tidak terbentuk sistem drainase di dalam campuran;
- [2] Terjadi *binder drainage* pada campuran *porous asphalt* akibat suhu proses pemanasan pada saat pencampuran yang tidak terkontrol dengan baik;
- [3] Bentuk agregat yang cenderung pipih sehingga mengecilkkan kemungkinan terbentuknya rongga yang *interconnecting* pada campuran PA.
- [4] Terjadinya material yang pecah akibat pemadatan, karena nilai abrasi agregat yang lebih tinggi yaitu 33,63%.
- [5] Terjadi segregasi pada saat penuangan campuran ke dalam mold saat pemadatan.

SIMPULAN

Diperoleh hubungan : VIM berbanding lurus dengan koefisien permeabilitas, densitas berbanding terbalik dengan koefisien permeabilitas dan stabilitas berbanding terbalik dengan koefisien permeabilitas. Nilai koefisien permeabilitas vertikal lebih kecil dibanding dengan koefisien permeabilitas horisontal

Hasil pengukuran permeabilitas yang telah dilakukan sudah cukup peka, dibuktikan dengan adanya arah grafik yang hampir sama pada setiap pengukuran. Hasil pengukuran koefisien permeabilitas untuk gradasi BS : VIM 27,58% dengan k_v 0,0924 cm/dt; gradasi BVR : VIM 32,18% dengan k_v 0,2942 cm/dt; gradasi Australia : VIM 29,63% dengan k_h 0,2979 cm/dt.

Desain alat yang dibuat menggunakan 2 macam klem yaitu untuk permeabilitas vertikal dan horisontal dengan tabung yang terbuat dari bahan acrylic. Kelebihan alat yang digunakan yaitu lebih praktis karena *seal* dibuat dari klem yang dilapisi karet, bukan dari dempul atau bahan lain yang dapat merusak alat, sehingga alat dapat berulang kali digunakan. Sedangkan kekurangannya yaitu, pada tabung penampung air tidak dapat berbentuk lingkaran sempurna karena alat yang digunakan adalah *handmade* sehingga terdapat pergeseran nilai ketelitian luas permukaan tabung.

REKOMENDASI

Perlu adanya penelitian peninjauan nilai koefisien permeabilitas *porous asphalt* dengan variasi kadar aspal, penggunaan filler, modifikasi binder, dan variasi diameter butiran agregat.

Alat yang sudah ada perlu dimodifikasi lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicari nilai koefisien permeabilitas dengan variasi kemiringan permukaan dan variasi umur campuran yang diperlakukan dalam kondisi lapangan.

REFERENSI

- Cabrera, J.G. & Hamzah., M.O, 1991, "Aggregate Grading Design for Porous Asphalt", In Cabrera, JG. & Dixon, JR. (eds). "Performance and Durability of Bitumenious Materials", Proceeding of, Symposium, University of Leeds., Mach 1994, London.
- Danies, ME, "Trials of Porous Asphalt and Rolled Asphalt on the A38 at Burton", 1992, Material and Colnstruction Division Highways Group Transport and Road Reseach Laboratory Crowthorne, Berkshire, RG11 6AU, ISSN 0266-5247.
- Khalid, H. & Perez Jimenez, F.K., "Performance Assessment of Spanish and British Porous Asphalt", In Cabrera, JG. & Dixon, JR. (eds), "Performance and Durability of Bitumenious Materials", Proceeding of Symposium, University of Leeds, Mach 1994, London.
- S Kandhal, Prativi & B Mallick, Rajib, "Open Graded Asphalt Friction Course State Practice", Auburn University, Alabama, May 1998.
- Hassan, HF Hassan & Taha, R, 2002, Use of Open Graded Friction Course (OGFC) Mixture in Oman. In Zoroob, SE Collop, AC & Brown, SE (eds), "Performance of Bituminous and Hydroulic Materials in Pavement", Nottingham.
- Richardson, J.T.G., 2002, Low-noise Surfacing, In Zoroob, S.E. Collop, A.C. & Brown, S.E. (eds), "Performance of Bituminous and Hydroulic Materials in Pavement", Nottingham
- Setyawan A., 2003, "The Development of Semi Flexible Heavy Duty Pavement", Thesis, Leeds University.
- Setyawan, A., 2005, "Design and Properties of Hot Mixture Porous Asphalt for semi

flexible pavements application”, *Jurnal penelitian Media Teknik Sipil*, Edisi Juli 2005, Surakarta.

Yuliati, N., 2004, “Penurunan Kapasitas Drainase Pada Perkerasan Aspal Porous”, *Prosiding Simposium VII FSTPT*, Univ Katolik Parahyangan, Bandung.