

# PENGARUH PEMILIHAN GRADASI TERHADAP FAKTOR PELAKSANAAN PEKERJAAN (WORKABILITY) CAMPURAN BERASPAL PORUS

**Hardiman**

Lecturer in Civil Engineering, Faculty of Engineering  
Syiah Kuala University  
Darussalam, Banda Aceh 23111  
E-mail: hardiman\_m@yahoo.com

## Abstrak

Mudah tidaknya pelaksanaan suatu pekerjaan pengaspalan di lapangan, seperti pencampuran, penghamparan, dan pemadatan sangat terkait dengan faktor pemilihan material, peralatan (equipment), dan kondisi alam setempat. Hasil akhir campuran aspal porus yang diinginkan, antara lain, adalah kemampuan alir air yang tinggi, stabilitas yang mencukupi, tahan terhadap disintegrasi, dan mudah dalam pelaksanaan pekerjaan. Dalam makalah ini akan diperlihatkan pengaruh pemilihan gradasi terhadap faktor pelaksanaan pekerjaan campuran beraspal porus. Faktor pelaksanaan pekerjaan ini biasanya di tentukan dari hasil uji pemadatan di laboratorium. Parameter yang digunakan adalah Workability Index (WI), yang dihitung berdasarkan hubungan antara nilai rongga (voids) dalam campuran dengan putaran alat gyropac. Nilai WI yang tinggi menandakan campuran lebih mudah dalam pelaksanaan. Bagaimanapun, hasil pengamatan terhadap kemampuan alir air (permeability) dan stabilitas campuran beraspal porus juga diperlihatkan. Semua pengujian dilakukan di laboratorium Material Jalan dan Transportasi, Universiti Sains Malaysia (USM), Penang. Ada tiga jenis gradasi yang diamati, yaitu gradasi-gradasi yang menggunakan variasi ukuran maksimum agregat kasar 20, 14, dan 10 mm. Seluruh campuran menggunakan jenis bahan pengikat semen aspal penetrasi 60/70. Campuran dipadatkan dengan alat pemadat gyropac buatan Australia. Besarnya beban sumbu yang digunakan adalah 240 kPa dengan jumlah dan sudut putaran masing-masing 300 putaran dan 2°. Hasil uji memperlihatkan bahwa rongga dalam campuran beraspal porus terus berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah putaran. Dengan ekstrapolasi dapat ditentukan nilai rongga pada putaran nol untuk setiap jenis campuran yang digunakan, sehingga diperoleh nilai WI 2,5; 2,70; 2,78 yang masing-masing mewakili campuran beraspal porus yang terbuat dari agregat kasar dengan ukuran maksimum 20, 14, dan 10 mm. Terdapat peningkatan nilai WI bila menggunakan agregat yang yang lebih halus. Naiknya nilai WI campuran beraspal porus yang terbuat dari agregat kasar dengan ukuran maksimum 10 mm menandakan bahwa jenis ini lebih mudah dalam pelaksanaan, seperti proses pencampuran, penghamparan, dan pemadatan bila dibandingkan dengan jenis campuran beraspal porus lainnya. Hasil uji juga memperlihatkan adanya kenaikan nilai permeabilitas campuran beraspal porus bila menggunakan agregat yang lebih kasar, tetapi nilai stabilitas campuran akan menurun.

**Kata-kata kunci:** campuran beraspal porus, *permeability*, *stability*, *workability index*.

## PENDAHULUAN

Campuran beraspal porus merupakan campuran beraspal generasi baru yang mengizinkan air dapat meresap ke dalam perkerasan beraspal secara vertikal dan mengalirkan air secara horizontal melalui lapisan kedap air yang berada di bawahnya. Perkerasan ini terus berkembang sesuai dengan tuntutan pengguna jalan yang menginginkan tingkat keselamatan yang lebih baik dan dengan tingkat kebisingan rendah. Jenis perkerasan ini sudah diperkenalkan di Belanda dengan nama campuran beraspal porus dua lapis (twinlay), yang dilaporkan dalam kongres aspal di Eropa pada tahun 1996, kemudian diperbaharui lagi dengan nama Twinlay M (disebut juga campuran

beraspal porus generasi ke 4), di mana lapisan permukaannya menggunakan agregat yang lebih halus, sehingga dapat lebih memperkecil tingkat kebisingan.

Namun demikian beberapa peneliti melaporkan beberapa kelemahan campuran beraspal porus, yaitu rendahnya masa layan akibat tersumbatnya rongga (clogging) dan tingkat durabilitasnya yang rendah. Pasir atau debu yang lepas di roda kendaraan dapat mengisi rongga yang terbuka, demikian juga konsolidasi perkerasan akibat bertambahnya beban lalu lintas. Tingginya rongga dalam campuran mempermudah terjadinya proses oksidasi, sehingga mengurangi kemampuan bahan pengikat dalam mempertahankan agregat.

Pada penelitian ini diperlihatkan pengaruh pemilihan gradasi terhadap faktor pelaksanaan pekerjaan (workability), kemampuan alir air (permeability), dan stabilitas. Gradasi yang dipilih adalah gradasi yang menggunakan variasi ukuran maksimum agregat kasar 20, 14, dan 10 mm. Seluruh campuran menggunakan bahan pengisi gabungan kapur dan OPC (Ordinary Portland Cement) dengan bahan pengikat semen aspal penetrasi 60/70.

## **CAMPURAN BERASPAL PORUS**

Campuran beraspal porus menggunakan gradasi yang didominasi oleh agregat kasar paling sedikit 85% terhadap berat total campuran, untuk dapat menghasilkan struktur yang lebih terbuka (open), sehingga dapat dialiri air (permeable). Fraksi agregat halus ditambahkan hanya untuk mendapatkan rongga agregat kering yang cukup untuk mempertahankan suatu komposisi agregat yang paling stabil. Gradasi yang dipilih adalah gradasi yang menghasilkan permeabilitas dan stabilitas yang tertinggi (Hamzah, 1996).

### **Kemudahan Pelaksanaan (Workability)**

Menurut Gudimettla et al (2003), nilai workability campuran Hot Mix Asphalt (HMA) telah dipresentasikan di Association of Asphalt Paving Technologist (AAPT) pada tahun 1978 oleh Marvillet. Pada makalah tersebut dinyatakan bahwa nilai workability campuran beraspal bergantung pada komposisi campuran serta jenis dan kadar bahan pengikat. Workability yang dikembangkan oleh Cabrera pada tahun 1991 di Universitas Leeds didasarkan pada hubungan antara rongga campuran dan energi pemadatan yang dikerjakan dengan alat gyropac.

### **Kemampuan Alir Air (Permeability)**

Kemampuan mengalirkan air merupakan salah satu sifat teknis campuran beraspal porus. Hal ini dapat terjadi karena rongga dalam campuran saling berhubungan. Fraksi agregat kasar dalam campuran sangat menentukan kapasitas rongga dalam campuran dan nilai permeabilitas, yang biasanya dinyatakan dalam cm/detik. Persyaratan minimum permeabilitas yang masih diperbolehkan untuk campuran beraspal porus berbeda-beda. Spesifikasi di Korea Selatan dan Jepang menyarankan 0,01 cm/detik, sedangkan TRL menyarankan 0,03 cm/detik (Hamzah et al., 2004).

Fakta di lapangan memperlihatkan bahwa rongga dalam campuran berkurang sebagai akibat konsolidasi campuran beraspal oleh beban lalu lintas dan tertutupnya rongga akibat debu. Tetapi sulit untuk ditentukan mana yang memberikan porsi terbesar dalam hal tersumbatnya rongga ini, karena hal-hal tersebut dapat terjadi secara bersamaan. Menurut kajian Collwill et al (1989), terjadi penurunan rongga rata-rata dari 20,2% menjadi 15,5% setelah usia perkerasan mencapai 3 tahun. Khandal et al (1977) menyarankan rongga awal dalam campuran sebesar 25%, Van Heystraten et al (1990) menyarankan sebesar 22%, sedangkan Jimenes et al menyarankan sebesar 20%. Menurut Koester (1985) penurunan rongga umumnya lebih cepat terjadi pada usia perkerasan kurang dari satu tahun, dan kemudian penurunan terjadi lagi secara perlahan.

Bila rongga dalam suatu perkerasan tertutup, maka kemampuan alir air dalam perkerasan tersebut berkurang. Menurut Colwill et al (1992) telah terjadi pengurangan kemampuan alir air sekitar 16-22% di A38 Burton Bypass setelah usia perkerasan mencapai 3 tahun. Kemampuan ini terus berkurang dan mencapai 10-15% setelah perkerasan berusia 6 tahun. Selanjutnya Kraemer (1990) melaporkan bahwa beberapa bagian Jalan di Spanyol mempunyai waktu alir air pada awal pelaksanaan sekitar 25-75 detik, dan meningkat menjadi 80-100 detik setelah perkerasan berusia 3 tahun, serta menjadi 160-400 detik setelah perkerasan berusia 9 tahun.

### **Stabilitas Marshall**

Umumnya nilai stabilitas campuran beraspal porus lebih kecil bila dibandingkan dengan nilai stabilitas campuran beton aspal (dense-graded). Nilai stabilitas campuran beraspal porus meningkat bila menggunakan agregat halus yang lebih banyak. Beberapa peneliti juga menemukan bahwa kadar aspal yang berbeda tidak begitu mempengaruhi nilai stabilitas. Penemuan ini mendukung pendapat yang menyatakan bahwa uji stabilitas Marshall tidak cukup untuk menilai kriteria campuran beraspal porus (Hamzah, 1996).

Persyaratan minimum untuk nilai stabilitas amat bervariasi. Sebagai contoh, di Jepang disyaratkan paling sedikit 350 kg (3,5 kN), sedangkan di Korea Selatan disyaratkan paling sedikit 500 kg (5,0 kN).

## **METODOLOGI**

### **Material**

Agregat yang digunakan dalam penyelidikan ini disuplai oleh Perusahaan Kuad Quarry, Penang, Malaysia. Agregat disaring berdasarkan fraksi gradasi yang digunakan untuk campuran beraspal porus.

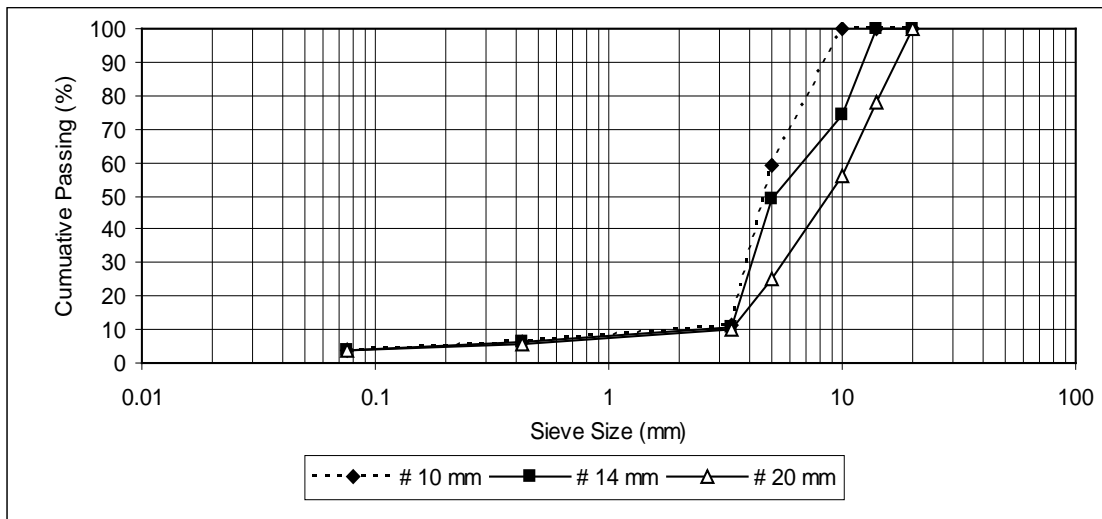
Bahan pengisi yang digunakan merupakan material yang lolos saringan berukuran 0,075 mm. Proporsi bahan pengisi yang digunakan tersebut adalah 4,0%, yang terdiri atas 2,0% hydrated lime dan 2,0% Ordinary Portland Cement (OPC).

Bahan pengikat yang digunakan pada penelitian ini adalah semen aspal penetrasi 60/70, yang disuplai oleh Perusahaan Shell Malaysia. Kadar bahan pengikat desain yang digunakan adalah

4,6%, 5,0%, 5,4%, yang masing-masing mewakili campuran yang menggunakan agregat dengan ukuran maksimum agregat kasar 20 mm, 14 mm, dan 10 mm (Hardiman, 2004).

### Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus

Umumnya gradasi yang digunakan untuk campuran beraspal porus dikembangkan berdasarkan metode empiris. Pada penelitian ini digunakan gradasi baru untuk campuran beraspal porus yang didesain berdasarkan teori kemampatan (packing behavior), dengan variasi ukuran maksimum agregat kasar sebesar 20 mm, 14 mm, dan 10 mm, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 (Hardiman, 2004).



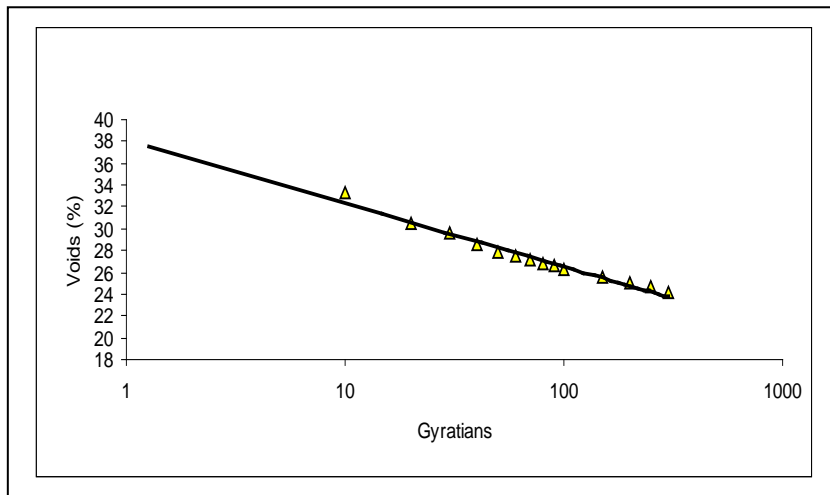
Sumber: Hardiman, 2004

**Gambar 1** Gradasi Agregat Campuran Beraspal Porus

Untuk semua uji yang dilakukan menggunakan menggunakan cetakan (mould) gyratory dengan diameter 100 mm. Agregat dan filler ditimbang dalam container. Kemudian dimasukkan ke dalam oven pada temperatur pencampuran yang diinginkan paling kurang 4 jam. Bahan pengikat aspal keras penetrasi 60/70 dipanaskan sekitar 2 jam. Suhu pencampuran dan pemadatan masing-masing 140oC dan 130oC. Waktu pencampuran dibatasi tak lebih dari 1 menit atau lebih cepat bila permukaan agregat sudah diselimuti oleh bahan pengikat. Campuran dipadatkan oleh gyropac dengan axial load 240 kPa, sudut putar 2 derajat dengan jumlah putaran 300. Hal ini didasarkan atas kajian awal dalam menentukan hubungan kepadatan antara pemadat Gyropac dengan pemadat Marshall 2 x 50 tumbukan. Selanjutnya ketinggian benda uji dicatat pada putaran 10, 20 30, 40 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200, 250 dan 300.

Workability ditentukan berdasarkan alat gyropac. Dengan mengetahui ketinggian setiap rentang putaran maka nilai rongga dalam campuran aspal porus dapat dihitung. Hubungan antara

rongga campuran dengan jumlah putaran gyropac (skala logaritma) digambarkan dalam sebuah kurva, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



**Gambar 2** Hubungan antara Rongga Dalam Campuran dengan Jumlah Putaran Gyropac

Dengan memperpanjang garis (extrapolation) pada kurva hubungan rongga dalam campuran dengan jumlah putaran gyropac dapat ditentukan besarnya rongga pada putaran nol. Selanjutnya dengan Persamaan 1 dapat ditentukan besarnya workability index untuk setiap campuran aspal porus. Nilai workability yang dilaporkan adalah nilai rata-rata dari dua benda uji.

$$WI = 100/A \quad (1)$$

dengan:

WI = Workability index

A = Nilai rongga pada putaran nol.

### **Pengujian terhadap Benda Uji**

#### *Permeability*

Koefisien permeability adalah sifat yang penting dari campuran aspal porus. Tak ada prosedur standar untuk mengukur nilai permeability. Peralatan yang digunakan dalam menentukan permeabilitas adalah water permeameter yang didesain berdasarkan Leeds water permeameter. Koefisien permeabilitas (k) dari benda uji dapat dihitung dengan Persamaan 2.

$$k = 2.3 [a.L/At] [\log (h1/h2)] \quad (2)$$

dengan:

k = koefisien permeability (cm/detik)

a = luas penampang melintang standpipe (cm<sup>2</sup>)

h1, h2 = tinggi muka air dalam standpipe pada waktu t1 dan t2 (cm)

A = luas penampang melintang benda uji (cm<sup>2</sup>)

L = tebal benda uji (cm)

t = waktu alir dari posisi h1 ke h2 (detik)

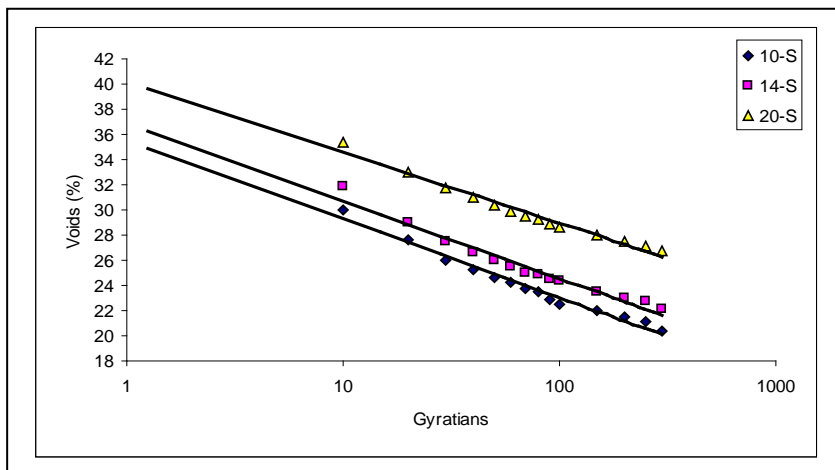
## Uji Marshall

Uji Marshall digunakan untuk menentukan stabilitas dan kelelahan (flow). Beban diberikan pada kecepatan tetap, yaitu 50,8 mm/menit sampai benda uji retak. Sebelum uji dilakukan benda uji direndam dalam waterbath pada temperatur 60°C selama 30-40 menit. Beban maksimum dinyatakan dalam kN dan besarnya deformasi yang terjadi pada saat beban maksimum disebut sebagai flow (mm). Stabilitas yang dilaporkan adalah hasil dari rata-rata 2 benda uji. Rongga dalam campuran dapat ditentukan berdasarkan data berat dan ukuran benda uji.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Berdasarkan ketinggian benda uji yang diperoleh dari alat gyropac, telah dihitung besarnya rongga dalam campuran untuk setiap rentang putaran gyropac. Hubungan rongga dalam campuran dengan jumlah putaran gyropac diperlihatkan pada Gambar 3. Dengan ekstrapolasi dapat ditentukan besarnya rongga dalam campuran aspal porus pada putaran nol gyropac, sehingga nilai workability dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 1. Selanjutnya terhadap benda uji ini dilakukan uji permeability dan stabilitas Marshall. Selengkapnya hasil uji diperlihatkan pada Tabel 1.



**Gambar 3** Hubungan Rongga Dalam Campuran dengan Jumlah Putaran Alat Gyropac

**Table 1** Workability Index Campuran Beraspal Porus

Ukuran Maks. Agregat (mm)	Rongga pada putaran nol gyropac (%)	Workability Index	Permeability (cm/detik)	Stabilitas Marshall (kN)
20	40	2.5	0.171	5.12
14	37	2.70	0.136	5.26
10	36	2.78	0.126	5.34

## **Pembahasan**

### *Rongga dalam Campuran*

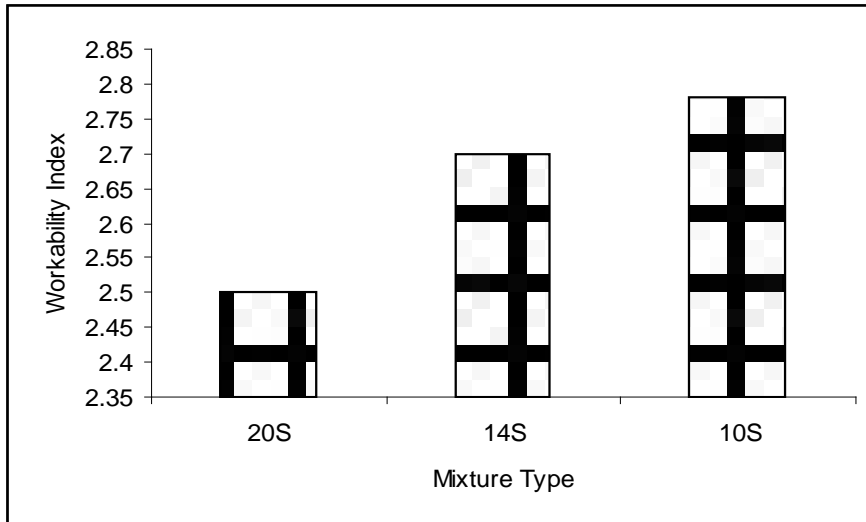
Rongga dalam campuran merupakan suatu parameter yang sangat penting dalam aspal porus. Besar kecilnya rongga sangat dipengaruhi oleh gradasi dan ukuran maksimum agregat yang digunakan. Rongga yang besar dapat menaikkan nilai permeability, namun tidak halnya dengan kekuatan dan durabilitasnya.

Berdasarkan hasil uji yang diperlihatkan pada Gambar 3, terlihat rongga dalam campuran terus menurun seiring dengan bertambahnya jumlah putaran gyropac. Nilai rongga dalam campuran yang terbuat dari maksimum agregat kasar 20 mm lebih tinggi dari jenis campuran lainnya. Tingginya nilai rongga dalam campuran ini selain dipengaruhi oleh ukuran butir, jumlah fraksi butir agregat kasar, juga besarnya kadar aspal yang digunakan. Besarnya ukuran butir akan mengurangi jumlah permukaan butir yang harus diselimuti oleh aspal.

Pada Tabel 1 juga diperlihatkan nilai rongga pada putaran nol gyropac. Nilai rongga untuk campuran agregat terbuat dari ukuran maksimum agregat kasar 20 mm lebih tinggi dari ukuran maksimum 14 dan 10 mm. Sedangkan nilai rongga untuk campuran aspal yang terbuat dari 14 dan 10 kelihatannya hampir sama. Ini menggambarkan bahwa dengan tekanan beban gyropac sebesar 240 kPa, campuran aspal yang memiliki fraksi agregat halus yang lebih banyak, mortar aspal lebih mudah dan banyak memasuki rongga campuran aspal bila menggunakan ukuran maksimum butir yang lebih kecil (14 dan 10 mm). Demikian juga sebaliknya untuk campuran yang terbuat dari ukuran maksimum agregat yang lebih besar (20 mm), rongga dalam campuran hanya sedikit yang terisi oleh mortar aspal, karena jumlah fraksi agregat halus yang ada dalam campuran aspal jumlahnya lebih sedikit. Hasil uji memperlihatkan dengan jumlah putaran yang sama, campuran yang terbuat dari agregat ukuran maksimum yang lebih halus memiliki rongga lebih rendah dari campuran yang terbuat dari agregat yang lebih kasar.

### *Workability Index*

Berdasarkan hasil uji yang diperlihatkan pada Table 1, workability index untuk campuran terbuat dari agregat ukuran maksimum 20 mm lebih tinggi dari campuran yang terbuat dari agregat ukuran maksimum 14 dan 10. Namun nilai workability ini untuk campuran yang menggunakan ukuran butir maksimum 14 dan 10 mm kelihatannya hampir sama. Untuk lebih jelasnya nilai workability diperlihatkan pada Gambar 4.



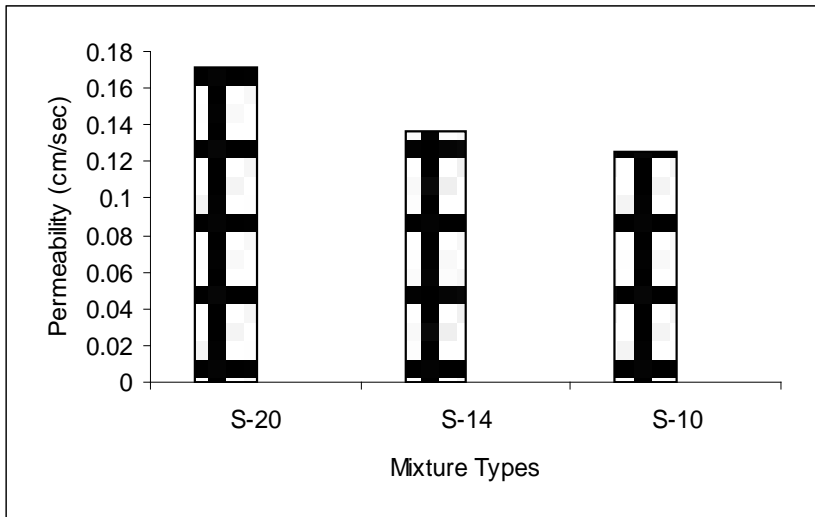
**Gambar 4** Workability Index Campuran Beraspal Porus

Besarnya nilai workability sangat ditentukan oleh nilai rongga pada putaran nol gyropac. Campuran yang memiliki rongga yang lebih besar menghasilkan nilai workability yang lebih kecil. Rendahnya nilai workability adalah suatu indikator bahwa campuran tersebut lebih sukar dalam proses pemadatan. Kondisi ini terlihat jelas dalam proses pemadatan di lapangan maupun di laboratorium, dimana campuran aspal yang terbuat dari agregat yang lebih halus lebih mudah dalam pengerjaannya, baik dalam pencampuran, penghamparan maupun penggilasan (pemadatan).

### *Permeability*

Kemampuan mengalirkan merupakan fungsi utama campuran aspal porus. Tabel 1 memperlihatkan nilai permeability terus naik, bila menggunakan ukuran maksimum yang lebih kasar. Kenaikan permeability campuran aspal porus terbuat dari agregat 20 mm mencapai 35,71% bila dibandingkan dengan agregat 10 mm dan 25,73% bila dibandingkan dengan agregat 14 mm. Namun demikian, perbedaan permeability antara campuran aspal porus yang terbuat dari ukuran maksimum 14 dan 10 mm sangat kecil, hanya 7,94%. Hasil ini memperlihatkan ada suatu kaitan antara nilai permeability dengan rongga dalam campuran aspal. Rongga yang besar cenderung menaikkan kemampuan alir air. Untuk lebih jelasnya perbedaan nilai permeability untuk masing-masing campuran diperlihatkan pada Gambar 5.

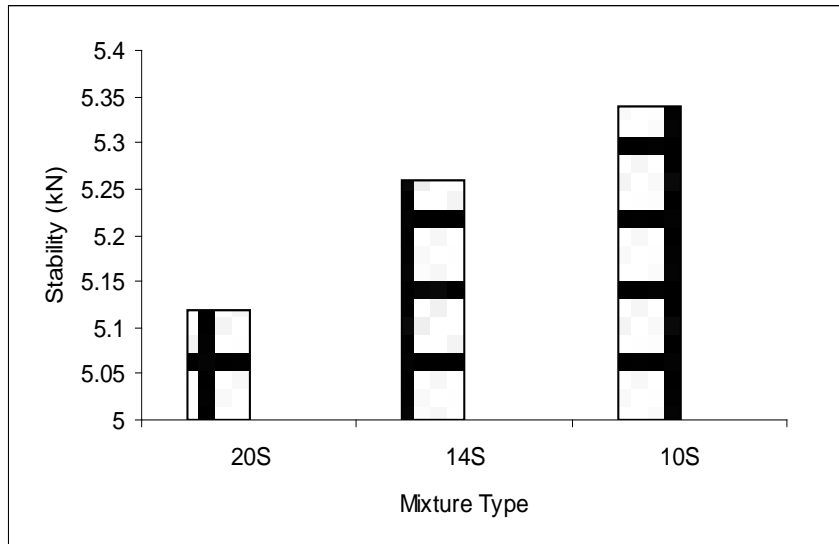




**Gambar 5.** Permeability Campuran Beraspal Porus

### *Stabilitas Marshall*

Kekuatan campuran aspal porus sangat terkait dengan daya kunci (interlock) sesama agregat kasar. Hasil uji memperlihatkan bahwa stabilitas campuran aspal yang terbuat dari agregat ukuran maksimum 20, 14 maupun 10 mm tidak jauh berbeda, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6. Namun demikian, stabilitas tertinggi diperoleh bila menggunakan agregat ukuran maksimum 10 mm. Perbedaan tertinggi hanya mencapai 4,30% bila dibandingkan dengan stabilitas campuran yang menggunakan agregat maksimum 20 mm. Rendahnya stabilitas campuran aspal porus bila dibandingkan dengan jenis aspal beton lainnya disebabkan rendahnya fraksi agregat halus dalam campuran aspal porus. Namun demikian, beberapa negara di Benua Eropa, seperti Belanda, Inggris, Spanyol hanya mensyaratkan nilai stabilitas minimum 500 kg (5 kN), sedangkan Japan Road Association (JRA) hanya mensyaratkan 350 kg (3,5 kN). Hal ini dapat dimaklumi, memang konsep design aspal porus lebih mengutamakan kemampuan alir air, namun demikian syarat minimum stabilitas harus terpenuhi. Dalam konstruksi perkerasan, lapis aspal porus ini dihampar sebagai lapis penutup (wearing course). Lapisan dibawahnya menggunakan lapis beton aspal bergradasi padat, kedap air dan memiliki stabilitas jauh lebih tinggi dari aspal porus. Lapisan inilah yang berfungsi sebagai penopang utama dalam sistem pembebanan lalu lintas.



**Gambar 6.** Stabilitas Marshall Campuran Beraspal Porus

## KESIMPULAN

- (1) Nilai workability menurun bila rongga dalam campuran besar. Namun demikian nilai rongga terus menurun seiring dengan bertambahnya jumlah putaran gyropac.
- (2) Campuran aspal porus yang memiliki agregat yang lebih kasar akan lebih sukar dipadatkan dibanding dengan agregat yang lebih halus.
- (3) Nilai permeability meningkat bila menggunakan agregat yang lebih kasar, tapi nilai stabilitas menurun.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih terutama kepada pembimbing thesis Prof. Madya Dr. Meor Othman Hamzah, atas segala nasehat, saran dan bimbingannya. Terima kasih juga disampaikan kepada Pemerintah Malaysia, dalam hal ini Kementrian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar atas dana yang diberikan dalam Project IRPA, sehingga penelitian ini dapat berjalan tepat pada waktunya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cabrera J.G. 1991. *Assessment of the Workability of Bituminous Mixtures*. Highways and Transportation, No. 11, pp. 17-23.
- Colwill, D.M, and Daines, M.E. 1989. *Progress in the Trials of Pervious Macadam*. Highways, pp. 15-17.
- Colwill, D.M., Bowskill G.J, Nicholls, J.C and Daines, M.E. 1993. *Porous Asphalt Trials in the United Kingdom*. Transportation Research Record 1427, pp. 13-21. Washington, DC.

- Colwill, D.M and Daines, M.E. 1989. Progress in the Trials of Pervious Macadam, Highways, pp. 15-17.
- Gudimettla, J.M, Cooley L.A, and Brown, E.R. 2003. *Workability of Hot Mix Asphalt*. NCAT Report No. 03-03.
- Hamzah, M.O. 1996. *Performance of Porous Asphalt*, Ph.D. Thesis, Leeds University, UK.
- Hamzah M.O, and Hardiman. 2004. *Effect of Maximum Aggregate Size on Single Layer Porous Asphalt Properties and a Proposal for Double Layer to Resist Clogging*. Proceedings of the 6th Malaysian Road Conference, Kuala Lumpur.
- Hardiman. 2004. Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Kasar dalam Desain Gradasi Campuran Aspal Porus. *Jurnal Teknik Sipil (JTS)*, Vol. 11 No. 2. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Hardiman. 2004. *Application of Cantabrian and Binder Drainage Tests in Designing of Porous Asphalt Binder Content*. Seminar Forum Studi Transportasi antar Peguruan Tinggi (FSTPT) Ke-7, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Kandhal, P.S, Brunner R.J, and Nichols, T.H. 1977. *Design, Construction and Performance of Asphalt Friction Courses*. Transportation Research Record 659, pp. 18-23. Washington, DC.
- Koester, H. 1985. *Porous Wearing Courses: Observations of the Behaviour under Traffic*. Proc. 3rd Eurobitume Symp., The Hague, pp. 512-517.
- Kraemer, C. 1990. *Porous Asphalt Surfacing in Spain*. International Symposium on Highway Surfacing, University of Ulster.
- Van Bochove, G.G. 1996. *Twinlay, a New Concept of Drainage Asphalt Concrete*. Eurobitume and Euroasphalt Congress 1996, Strasbourg.
- Van Heystraeten, G and Moraux, C. 1990. *Ten Years' Experience of Porous Asphalt in Belgium*. Transportation Research Record 1265, pp. 34-40, Washington, DC.
- Van Bochove, G.G. 2000. *Porous Asphalt (Two layered) Optimising and Testing, 2nd Eurobitume and Euroasphalt Congress*. Barcelona.

