

STUDI RONGGA MENERUS DAN KINERJA PERMEABILITAS PERKERASAN ASPAL PORUS LAPIS GANDA

I Wayan Diana

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Unila
Jalan Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145
Tlp./Fax. (0721) 704947

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari kadar rongga menerus dan kinerja aliran pada perkerasan aspal porus lapis ganda, agar diperoleh lapisan perkerasan dengan kapasitas drainase dapat berfungsi efektif selama masa layan. Pada penelitian ini dibuat 3 macam kombinasi benda uji yaitu: (i) A (10/14 mm), (ii) B (10/20 mm), dan (iii) C (14/20 mm) dengan ukuran 50 x 30 x 5 cm. Pengujian permeabilitas yang dilakukan adalah uji permeabilitas horizontal (k_h), uji permeabilitas vertikal (k_v) untuk mendapatkan koefisien permeabilitas ekuivalen (k_e). Di samping itu, dipelajari kinerja aliran permukaan (*surface run off*) dan aliran bawah permukaan (*base flow*). Peralatan yang dipergunakan adalah simulasi curah hujan (*rainfall simulator*) dengan intensitas curah hujan 600 mm/jam, dibuat tiga variasi kemiringan permukaan jalan yaitu 2%, 4%, dan 6%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar rongga menerus dengan Metode Perancis lebih besar 6 1% dibandingkan dengan Metode Archimedes. Koefisien permeabilitas ekuivalen aspal porus lapis ganda A (10/14) diperoleh $k_e = 0,264$ cm/detik, B (10/20) diperoleh $k_e = 0,288$ cm/detik, dan C (14/20) diperoleh $k_e = 0,401$ cm/detik.

Hasil pengujian simulasi curah hujan dengan intensitas hujan 600 mm/jam, diamati setiap interval sepuluh menit selama satu jam. Volume air yang terukur 15000 cm³/10 menit, terurai menjadi aliran permukaan (AP) dan aliran bawah permukaan (AB) serta volume air sisa yang terserap di dalam aspal porus (AS). Volume aliran kombinasi (A) sebesar 15,897% (AP) dan 83,456% (AB), sisanya berupa air yang terserap sebesar 0,647% (AS). Untuk kombinasi (B) diperoleh sebesar 3,239% (AP), 96,138% (AB), dan 0,623% (AS). Sedangkan untuk kombinasi (C) diperoleh sebesar 0% (AP), 99,339% (AB), dan 0,661% (AS).

Kombinasi yang paling efektif adalah C (14/20) memberikan kinerja permeabilitas paling baik dan tidak ada aliran permukaan untuk semua variasi kemiringan permukaan jalan.

Kata-kata kunci: rongga menerus, permeabilitas, lapis ganda

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Aspal porus dirancang untuk lapis permukaan jalan yang memungkinkan air meresap bebas ke dalam perkerasan dan mengalirkannya ke saluran samping. Perkembangan selanjutnya menunjukkan bahwa aspal porus layak untuk meningkatkan kontak antara roda kendaraan dengan permukaan jalan dalam berbagai kondisi. Mengurangi percikan air di belakang roda kendaraan dan pengkabutan serta kesilauan akibat pantulan cahaya lampu kendaraan atau sinar matahari pada permukaan jalan.

Kapasitas drainase aspal porus sangat tergantung dari kadar dan jenis rongga yang terbentuk setelah penghamparan dan pemadatan di lapangan. Prosentase rongga menerus yang besar sangat efektif untuk menyerap dan mengalirkan air hujan, tetapi perlu diantisipasi penyumbatan rongga yang cepat oleh debu atau tanah.

Agar kapasitas drainase aspal porus dapat berfungsi efektif selama masa layan, maka perlu dipelajari kadar rongga menerus dan kinerja permeabilitas pada perkerasan aspal porus lapis ganda. Pada penelitian ini dibuat kombinasi benda uji dengan lapisan atas mempunyai kadar rongga yang lebih kecil agar tidak mudah tersumbat. Sedangkan lapisan bawah mempunyai kadar rongga yang lebih besar sebagai tempat penampungan air dan mempercepat proses pengaliran ke saluran samping.

Tujuan Penelitian

- (1) Mempelajari kadar rongga menerus dengan metode Archimedes dan volume air yang terserap (Metode Perancis).
- (2) Menentukan nilai koefisien permeabilitas ekivalen (ke) perkerasan aspal porus lapis ganda.
- (3) Mempelajari sifat-sifat drainase aspal porus lapis ganda, khususnya hubungan antara debit aliran permukaan dan aliran bawah permukaan dengan berbagai variasi kemiringan melintang jalan.
- (4) Menentukan susunan perkerasan aspal porus lapis ganda yang mempunyai kapasitas drainase paling efektif.

Manfaat Penelitian

Sebagai bahan pertimbangan agar diperoleh perkerasan aspal porus dengan kapasitas drainase yang dapat berfungsi sesuai masa layan dan rongga menerus tidak cepat tersumbat.

TINJAUAN PUSTAKA

Fungsi Perkerasan Aspal Porus

Perkerasan aspal porus dengan kadar rongga yang cukup besar (15%–28%) setelah penghamparan dan pemadatan di lapangan, diharapkan dapat berfungsi sebagai berikut.

Keselamatan Lalu Lintas

Pada jalan bebas hambatan dirancang dengan kecepatan rencana minimal 80 km/jam, dengan kondisi permukaan jalan kering hal tersebut tidak menimbulkan masalah. Tetapi pada kondisi hujan gerimis dan jarak pandangan belum terganggu, pengemudi cenderung memacu kendaraannya dengan kecepatan cukup tinggi. Akibatnya sering terjadi kecelakaan akibat slip, kerana berkurangnya koefisien gesekan yang dapat mengimbangi gaya sentrifugal akibat adanya lapis tipis air yang menyelimuti permukaan jalan. Pada malam hari terjadi pemantulan cahaya oleh permukaan jalan yang basah, juga dapat meningkatkan potensi kecelakaan lalu lintas. Kecelakaan yang fatal dapat menelan korban jiwa, harta benda yang tidak ternilai harganya dan juga dapat mengakibatkan cacat seumur hidup. Bila dihitung secara ekonomis sangat merugikan, sehingga di berbagai negara telah diterapkan pemakaian perkerasan aspal porus untuk menurunkan angka kecelakaan lalu lintas.

Reduksi Kebisingan

Peningkatan aktivitas di kota-kota besar yang padat penduduk dapat meningkatkan kebisingan akibat lalu lintas. Padahal ambang batas kebisingan yang diizinkan 3 desibel sering terlampaui. Pada daerah permukiman, perkantoran, sekolah dan rumah sakit memerlukan ketenangan. Penerapan perkerasan aspal porus sangat membantu mengatasi soal kebisingan dan juga dapat dikombinasikan dengan dinding penahan kebisingan (*noise barrier*) sangat efektif untuk mereduksi kebisingan.

Pengaturan Debit Aliran

Pada daerah perkotaan perubahan pola aliran sungai maupun fasilitas drainase mengalami perubahan yang cukup drastis seiring dengan meningkatnya urbanisasi. Berkembangnya daerah permukiman, pertokoan, perkantoran dan pembuatan jalan akses dapat menutup sebagian besar daerah resapan. Sehingga fasilitas drainase yang ada tidak dapat lagi menampung limpasan air hujan. Demikian juga badan air seperti sungai akan meluap karena debit puncak akan tercapai dalam waktu singkat. Bila semua permukaan jalan diperkotaan di lapis dengan aspal porus, maka pola aliran pada saluran drainase dan sungai akan berubah. Sebagian besar air hujan akan terserap menjadi aliran bawah permukaan, kemudian dialirkan secara perlahan-lahan ke saluran samping terus ke sungai. Sehingga waktu konsentrasi menjadi cukup panjang mencapai 60 menit jauh lebih panjang bila dibandingkan dengan perkerasan biasa hanya mencapai 20 menit. Dengan demikian fasilitas drainase yang ada mempunyai masa layan yang lebih panjang.

Reduksi Pemanasan Lingkungan

Pemanasan global yang terjadi pada permukaan bumi semakin meningkat dari tahun ke tahun. Terjadi perubahan temperatur udara pada permukaan bumi di seratus titik di dunia. Pengaruh pemakaian aspal porus pada pemanasan lingkungan yang dilakukan selama tiga hari di Jepang, suhu di dalam perkerasan di ukur pada kedalaman 2,5 cm dari permukaan jalan. Ternyata terjadi perbedaan temperatur sekitar 5°C lebih rendah pada aspal porus dibandingkan dengan perkerasan biasa yang mendekati suhu 60°C pada siang hari.

Lokalisir Penyebaran Api

Bila terjadi tumpahan minyak di jalan akan menyebar secara cepat dan dapat terjadi kebakaran secara cepat dengan radius yang sangat besar. Sedangkan pada aspal porus akan menyerap tumpahan minyak tersebut dengan radius yang kecil dan kebakaran dapat dilokalisir.

Sifat-Sifat Drainase Aspal Porus

Hasil penelitian terdahulu dengan intensitas curah hujan 452,45 mm/jam, diperoleh aliran dasar volumenya sebesar 53.936,1 cm³/jam dan aliran permukaan sebesar 83,5 cm³/jam untuk kemiringan melintang jalan $e = 2\%$. Pada kemiringan melintang jalan 12% diperoleh volume aliran dasar sebesar 54.008,9 cm³/jam dan aliran permukaan sebesar 157,6 cm³/jam. Volume aliran dasar pada kondisi jenuh relatif stabil, sedangkan aliran permukaan meningkat seiring meningkatnya

kemiringan permukaan jalan. Membandingkan kedua volume aliran tersebut ternyata aliran dasar lebih besar (99,7%) dibandingkan dengan aliran permukaan untuk semua variasi kemiringan permukaan jalan (2%–12%). Hasil perhitungan koefisien permeabilitas (k) diperoleh rentang nilai dari 5,129 cm/detik ($e = 2\%$) sampai 0,850 cm/detik ($e = 12\%$) dengan tipe aliran laminar diprediksi dari angka Reynold (Re) < 1. Berarti hukum Darcy berlaku untuk aliran air di dalam lapisan aspal porus (Diana, 2000).

Pada kasus media porus berupa tanah endapan, karena perbedaan tahap pengendapan dan konsolidasi sering terjadi lapisan secara alamiah. Media porus seperti itu disebut tidak homogen dan perbedaan ketebalan lapisan sering mempunyai koefisien permeabilitas yang berbeda. Apabila (k) sama untuk semua arah pada suatu lapisan tertentu, media tersebut adalah tidak homogen tetapi isotropik. Bila nilai (k) berbeda-beda dalam arah yang berbeda, media tersebut tidak homogen dan tidak isotropik. Untuk tanah yang berlapis-lapis dimana koefisien permeabilitas dalam suatu arah tertentu berubah-ubah dari lapis ke lapis, perlu ditentukan harga koefisien permeabilitas ekuivalen (k_e) untuk menyederhanakan perhitungan (Das, B., 1985). Hal tersebut juga dapat diterapkan pada perkerasan aspal porus lapis ganda.

Gradasi Aspal Porus

Gradasi yang dipakai dalam penelitian ini adalah gradasi terbuka dengan diameter agregat maksimum 10 mm, 14 mm, dan 20 mm seperti Tabel 1.

Tabel 1 Tipikal Nilai Tengah Gradasi Aspal Porus

Diameter Saringan	Diameter Agregat Maksimum			Toleransi
	10 mm	14 mm	20 mm	
26,5 mm	-	-	100	-
19,0 mm	-	100	95	+ 6
13,2 mm	100	95	55	+ 6
9,5 mm	90	50	30	+ 6
6,7 mm	40	27	20	+ 6
4,75 mm	20	11	10	+ 5
2,36 mm	12	9	8	+ 5
1,18 mm	8	8	6	+ 5
0,60 mm	6	6,5	4	+ 5
0,30 mm	5	5,5	3	+ 3
0,15 mm	4	4,5	3	+ 3
0,075 mm	3,5	3,5	2	+ 1
Kadar Aspal	5,5–6,5	5,0–6,0	4,5–5,5	-

Sumber: Australian Asphalt Pavement Association, 1977

LANDASAN TEORI

Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan perkerasan aspal porus untuk mengalirkan air. Pengujian dilakukan pada benda uji *Wheel Tracking* untuk mengetahui permeabilitas masing-masing benda uji tersebut.

Benda uji direndam terlebih dahulu supaya jenuh sebelum pengujian, kemudian diukur waktu yang diperlukan oleh air setinggi 5 cm di atas benda uji untuk meresap ke bawah. Koefisien permeabilitas dapat diketahui dari persamaan berikut.

$$K = 2,3 \times \left(\frac{H}{T}\right) \times \log\left(\frac{(H + 5 \text{ cm})}{H}\right) \quad (1)$$

dengan:

K = Koefisien Permeabilitas (cm/detik)

H = Tebal Benda Uji (cm)

T = Waktu yang diperlukan untuk meresap (detik).

Nilai K berkisar antara 0,187 cm/detik–0,844 cm/detik (Insering dkk., 1990)

Aliran Air di Dalam Tanah

Teori paling mendasar tentang aliran air di dalam tanah ditemukan oleh Henry Darcy tahun 1856, dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q = K \cdot A \left(\frac{\Delta h}{L}\right) \quad (2)$$

dengan:

Q = Volume aliran (cm³/detik)

K = Koefisien permeabilitas (cm/detik)

A = Luas penampang (cm²)

$\Delta h / L$ = Hidrolik gradien (tidak berdimensi)

Tipe aliran diklasifikasikan berdasarkan angka Reynold, untuk aliran melalui media yang porus angka Reynold dinyatakan dengan persamaan:

$$Re = \rho \cdot v \cdot d_{10} / \mu \quad (3)$$

dengan:

Re = Angka Reynold (tidak berdimensi)

v = Kecepatan Darcy (cm/detik)

ρ = Rapat massa air (gram/cm³)

μ = Viskositas dinamis fluida (gram/cm.detik)

d₁₀ = Diameter efektif butiran, 10% lolos saringan (cm)

Untuk $Re < 1$ terjadi aliran laminer, untuk $1 < Re < 10$ terjadi aliran transisi dan untuk $Re > 10$ terjadi aliran turbulen. Prinsip yang sama diterapkan pada aspal porus lapis ganda untuk mempelajari kinerja aliran air di dalam aspal porus, apakah hukum Darcy tersebut masih berlaku pada aliran tersebut.

Simulasi Curah Hujan

Peralatan ini merupakan demonstrasi skala kecil proses fisik hidrologi, untuk mempelajari hubungan antara curah hujan yang jatuh pada daerah tangkapan dengan variasi permeabilitas air tanah termasuk aliran permukaan. Secara gravitasi bentuk aliran di daerah tangkapan dapat berupa aliran permukaan dan aliran air tanah dengan kecepatan rendah. Permukaan tanah menyerap air

hujan yang jatuh menjadi air tanah, ketika rongga di dalam tanah sudah jenuh maka air hujan mengalir pada permukaan tanah yang disebut sebagai aliran permukaan.

Prinsip yang sama dipakai untuk mempelajari kinerja aliran di dalam aspal porus dengan intensitas curah hujan 600 mm/jam. Sebelum pengujian dimulai intensitas curah hujan dikalibrasi pada rotameter dengan skala yang dihitung dengan persamaan dasar metode rasional secara umum.

$$Q = I \cdot A / 600.000 \quad (4)$$

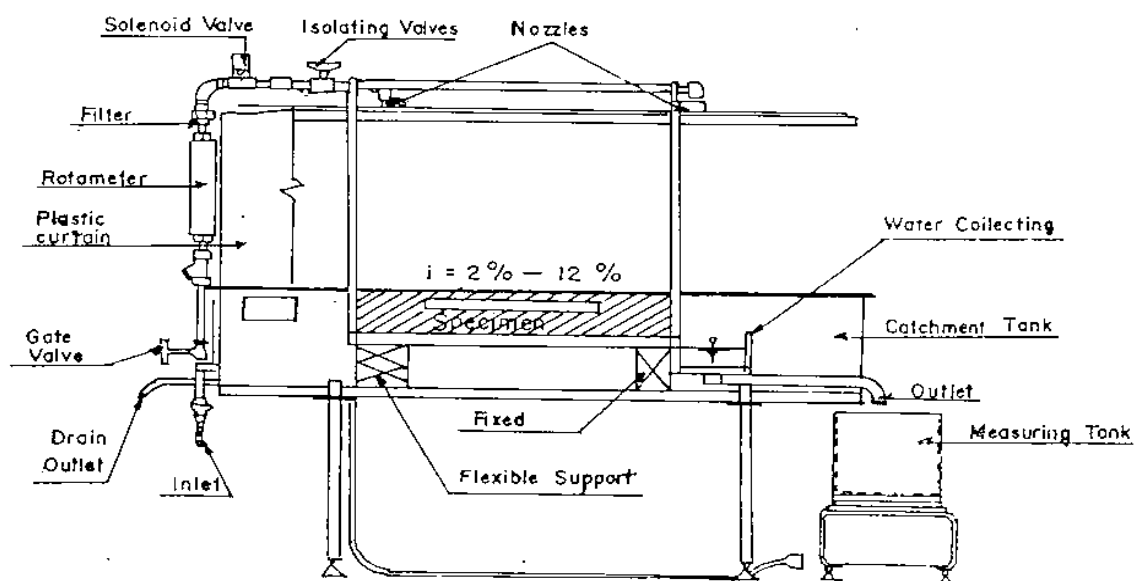
dengan:

Q = Debit (Liter/menit)

I = Intensitas Curah Hujan (mm/jam)

A = Luas daerah tampungan (m²)

Bilangan 600.000 merupakan faktor konversi satuan



Sumber: Armfield Technical Education Co. Ltd. Hampshire, England

Gambar 1 Penempatan Sampel pada Rainfall Hydrograph

Sebelum pengujian sampel menggunakan simulasi curah hujan dilakukan terlebih dahulu pengujian permeabilitas benda uji tersebut dengan metode tinggi jatuh (*falling head*).

Pengujian permeabilitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan benda uji meresapkan air melalui rongga-rongga pada campuran aspal porus. Kemiringan permukaan yaitu variasi 2%, 4%, dan 6%. Gradien hidrolis dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$i = \Delta H / L \quad (5)$$

dengan:

i = gradien hidrolis

ΔH = beda elevasi (cm)

L = panjang sampel (cm)

Besarnya gradien hidrolis untuk kemiringan permukaan jalan (i) = 2% dan panjang (L) = 50 cm diperoleh beda elevasi 1 cm. Uji permeabilitas dengan simulasi curah hujan dengan intensitas 600 mm/jam. Pengamatan dilakukan sebanyak dua kali pengulangan untuk setiap variasi kemiringan permukaan jalan dengan dua buah benda uji untuk setiap kombinasi.

Neraca Air

Neraca air adalah hitungan volume atau aliran air dari semua aspek yang mungkin terjadi di suatu daerah tertentu, jadi merupakan suatu imbang masa. Teori hidrologi tidak lepas dari daur hidrologi yang dijelaskan dengan neraca air (*water balance*) untuk suatu sistem tertentu. Persamaan neraca air secara sederhana adalah:

$$I = O + \Delta S \quad (6)$$

dengan:

I = Masukan

O = Keluaran

ΔS = Perubahan Tampung.

Ketiga komponen yang dimaksudkan di atas ditinjau hanya untuk suatu sistem atau sub-sistem tertentu. Dalam suatu sistem yang tertutup seperti dalam penelitian ini semua komponen masukan dan keluaran dapat diidentifikasi.

$$Q.T = V_{ap} + V_a + V_p + V_{aa} \quad (7)$$

dengan:

Q = Debit aliran (liter/menit)

T = Waktu pengaliran (menit)

V_{ap} = Volume aliran permukaan (liter)

V_a = Volume aliran melalui lapisan aspal (liter)

V_p = Volume percikan air (liter)

V_{aa} = Volume air di dalam aspal pada akhir pengujian (liter)

Rongga Menerus

Propertis hidrolis konduktivitas dalam jangka panjang tidak hanya tergantung VIM dan kadar rongga menerus, juga ukuran rongga itu sendiri secara keseluruhan. Makin besar rongga individual cenderung mudah tersumbat, oleh karena itu diperlukan rongga individual yang cukup untuk mempertahankan efektifitas hidrolis konduktivitas sepanjang masa layan (Colwill, 1997). Penurunan kemampuan hidrolis konduktivitas seiring dengan umur perkerasan, selain disebabkan penyumbatan oleh debu atau sampah juga disebabkan oleh penuaan aspal dan pemadatan tambahan oleh beban lalu lintas.

Di Perancis prosedur standar untuk menentukan kadar rongga menerus, berdasarkan volume air yang dapat diserap oleh benda uji dibagi dengan volume benda uji dikalikan 100%. Penelitian menunjukkan besarnya rongga menerus berkisar 80%-90% dari rongga total di dalam campuran. Rencana campuran pervious macadams dengan kadar pasir yang rendah diperoleh kadar rongga total 25% dan kadar rongga menerus 20%. Koefisien permeabilitas tipe campuran 6/10

menurun dari 2,2 cm/detik pada umur perkerasan 3 bulan menjadi 1,8 cm/detik setelah perkerasan berumur 24 bulan (Ganga et al., 1997).

Rongga udara dalam campuran aspal bergradasi terbuka terdiri dari rongga menerus dan rongga tidak menerus. Perhitungan prosentase rongga udara dalam campuran (Metode Archimedes) dapat dihitung dari persamaan berikut.

$$Ru = \left(1 - \left(\frac{\left(\frac{W}{V} \right)}{BJ \text{ Teori Maksimum}} \right) \times 100\% \right) \quad (8)$$

dengan:

Ru = rongga udara (%)

W = berat benda uji (gram)

V = Volume benda uji (cm³)

Rongga udara menerus di dalam campuran dapat diketahui dari persamaan berikut.

$$Rm = \left(\frac{\left(\frac{(W_a - W)}{\rho a} + V \right)}{V} \times 100\% \right) \quad (9)$$

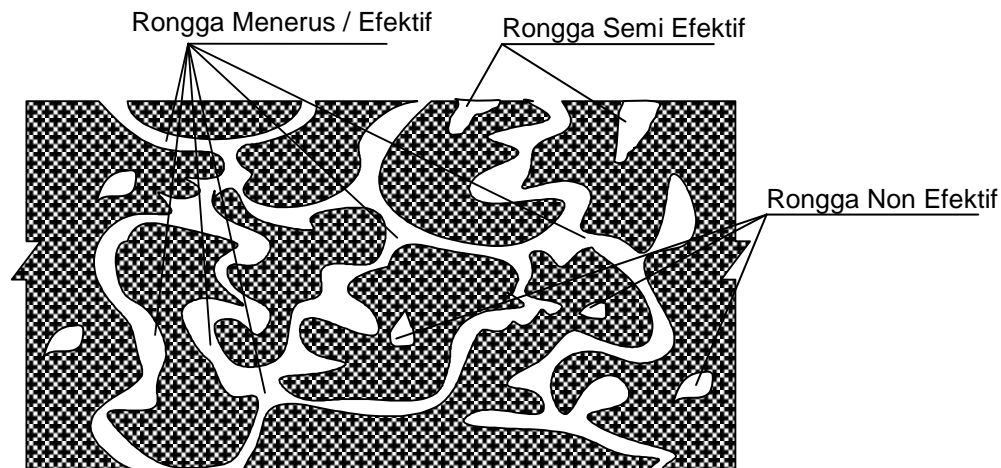
dengan:

Rm = Rongga udara menerus (%)

Wa = Berat benda uji di dalam air (gram)

V = Volume benda uji (gram)

ρa = Rapat massa air (1 gram/cm³)



Sumber: Maruyama, 1995

Gambar 2 Bentuk Rongga Udara pada Aspal Porus

Sedangkan menurut metode Perancis berdasarkan volume air yang terserap di dalam benda uji dibagi dengan volume total benda uji dikalikan seratus persen adalah:

$$Rmp = (Vat / V) \times 100\% \quad (10)$$

dengan:

Rmp = Kadar rongga menerus Metode Perancis (%)

Vat = Volume air yang terserap (cm³)

V = Volume total benda uji (cm³)

METODE PENELITIAN

Material untuk campuran aspal porus adalah agregat kasar dari batu pecah Tanjungan di Lampung Selatan, pasir dari Gunung Sugih Lampung Tengah dan bahan pengisi (*filler*) dipakai Semen Baturaja. Bahan pengikat dipakai aspal modifikasi HBA 50 dengan bahan penstabil campuran serat selulosa *Roadcell* 50 produksi PT. Olah Bumi Mandiri di Jakarta.

Peralatan yang dipakai adalah pemadat benda uji yaitu *Wheel Tracking Compactor* (WTC), alat uji permeabilitas, alat simulasi curah hujan dan alat tambahan untuk dudukan benda uji yang dapat diatur kemiringannya dari 2% sampai 6%.

Benda uji yang dibuat dengan diameter agregat maksimum: 10 mm, 14 mm dan 20 mm. Kombinasi benda uji dibuat tiga macam yaitu: (1) A{(10/14)AA, (10/14)AB}, (2) B{(10/20)BA, (10/20)BB}, dan (3) C{(14/20)CA, (14/20)CB}. Dimensi benda uji 50 x 30 x 5 cm untuk setiap lapis dipadatkan dengan *Wheel Tracking Compactor* sebanyak 12 *passing* pada tekanan $6,5 \pm 0,15$ kg/cm².

Pengumpulan dan Pengolahan Data

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Inti Jalan Raya dan Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil FT Unila. Pengujian yang dilakukan adalah: uji propertis agregat dan aspal, uji propertis campuran, uji permeabilitas vertikal dan horisontal serta uji dengan simulasi curah hujan pada intensitas 600 mm/jam. Data yang telah terkumpul diolah dan dihitung sesuai dengan formula pada landasan teori, selanjutnya dilakukan pembahasan untuk mendapatkan kesimpulan.

ANALISIS DATA

Propertis Bahan Dasar Aspal Porus

Hasil pengujian agregat kasar diperoleh berat jenis $2,68 > 2,5$ dengan penyerapan $2,2\% < 3\%$ dan berat jenis Semen Baturaja 3,150. Hasil uji abrasi adalah $21,8\% < 40\%$, kehilangan berat akibat tumbukan $12,7\%$ dan akibat tekanan $22,4\% < 30\%$ (BS 812). Indek kepipihan $12,5\% < 25\%$, hasil pengujian soundness $0,25\% < 12\%$ dan uji kesetaraan pasir $75,4\% > 50\%$. Berdasarkan hasil pengujian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa propertis agregat kasar dan halus dan *filler* memenuhi standar Bina Marga dan *British Standard 812* (1975).

Hasil pengujian aspal HBA.50 diperoleh berat jenis 1,03 dan penetrasi 56,2 dengan titik lembek $52,5^{\circ}\text{C}$ dan daktilitas > 100 cm. Karena standar untuk aspal modifikasi belum ada, secara umum propertis HBA.50 dapat dipakai untuk bahan pengikat beton aspal.

Propertis Kadar Rongga dan Koefisien Permeabilitas

Perhitungan kadar rongga di dalam campuran aspal porus menggunakan metode Archimedes, yaitu berdasarkan berat air yang dipindahkan oleh benda uji pada waktu ditimbang di dalam air. Disamping itu dicoba untuk menghitung kadar rongga menerus dengan menggunakan metode Perancis, yaitu berdasarkan volume air yang terserap kedalam rongga aspal porus dibagi dengan volume total. Hasil pengujian selengkapnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perhitungan Kadar Rongga dan Koefisien Permeabilitas Lapis Ganda

Kombinasi Benda Uji	VIM Total	Archimedes		Perancis		Koef. Permeabilitas		
		%	% Tot	%	% Tot	k_v	k_h	k_e
10/14 AA	20,566	13,750	66,858	15,833	76,986	0,174	0,458	
10/14 AB	20,348	13,961	68,611	14,333	70,439	0,140	0,444	
Rerata:	20,457	13,855	67,735	15,083	73,713	0,155	0,451	0,264
10/20 BA	20,390	14,230	69,789	13,867	68,009	0,232	0,456	
10/20 BB	19,516	12,674	64,942	15,600	79,934	0,174	0,378	
Rerata:	19,953	13,452	67,366	14,733	73,972	0,199	0,417	0,288
14/20 CA	21,357	15,082	70,619	16,467	77,104	0,338	0,456	
14/20 CB	21,155	14,948	70,659	16,600	78,468	0,341	0,494	
Rerata:	21,256	15,015	70,639	16,533	77,786	0,339	0,475	0,402

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar rongga menerus sebesar 67,735%–70,639% (Archimedes) lebih kecil dari 70,439%–77,786% (Perancis) terhadap rongga total. Koefisien permeabilitas ekivalen (k_e) juga meningkat dari 0,264 cm/detik (A) menjadi 0,288 cm/detik (B) dan 0,402 cm/detik (C). Secara umum dapat disimpulkan bahwa semakin besar kombinasi agregat maksimum menghasilkan kadar rongga menerus semakin tinggi dan nilai koefisien permeabilitas ekivalen juga semakin meningkat pula.

Kinerja Aliran Pada Simulasi Curah Hujan

Sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu benda uji direndam sampai jenuh, barulah diadakan pengujian dengan pengukuran volume air sebanyak dua kali untuk setiap benda uji dan setiap variasi kemiringan permukaan jalan 2%, 4% dan 6%. Hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Hasil Pengukuran Volume Aliran/10 Menit (Intensitas 600 mm/Jam)

Benda Uji	Vol. Total	Aliran Permukaan			Aliran Bawah Permukaan			Perb. Tampungan		
		2%	4%	6%	2%	4%	6%	2%	4%	6%
AA	15000	2119,1	3420,8	4722,6	12807,0	11483,1	10159,2	73,9	96,1	118,2
AB	15000	923,1	1359,2	1762,1	13993,1	13509,9	13158,5	83,8	130,9	79,4
Rata-rata:	15000	1521,1	2390,0	3242,4	13400,1	12496,5	11658,4	78,9	113,5	98,8
BA	15000	175,9	464,1	736,8	14733,2	14394,6	14193,8	90,8	141,3	69,4
BB	15000	155,5	512,5	869,5	14739,9	14457,3	14005,5	104,6	30,2	125,0
Rata-rata:	15000	165,7	488,3	803,2	14736,6	14426,0	14099,7	97,7	85,7	97,2
CA	15000	0	0	0	14877,8	14890,4	14894,6	122,2	109,6	105,4
CB	15000	0	0	0	14938,8	14930,0	14863,9	61,2	70,0	136,1
Rata-rata:	15000	0	0	0	14913,8	14910,2	14879,3	91,7	89,8	120,8

Keseluruhan hasil pengujian simulasi curah hujan dengan intensitas hujan 600 mm/jam terjadi kecenderungan peningkatan aliran permukaan seiring dengan peningkatan kemiringan permukaan jalan dan sebaliknya pada aliran bawah permukaan. Hal tersebut terjadi karena kemiringan yang landai air memiliki cukup waktu untuk meresap ke dalam aspal porus lapis ganda dan tidak terhalang oleh filamen air yang terbentuk akibat pengaruh kemiringan. Sebaliknya pada kemiringan yang lebih curam, air sebelum memasuki rongga terbentuk filamen air dan terbawa mengalir sebagai aliran permukaan.

Selain hal tersebut di atas, aliran permukaan sangat dipengaruhi oleh tipe rongga pada permukaan aspal porus. Semakin baik peronggaan pada permukaan benda uji maka aliran permukaan yang terjadi semakin kecil. Hal ini dibuktikan pada benda uji kombinasi C (14/20) dengan kadar rongga yang baik tidak terjadi aliran permukaan untuk semua variasi kemiringan benda uji.

Aliran bawah permukaan sangat dominan mencapai 99% dan sisanya berupa aliran permukaan serta volume air yang tertahan di dalam rongga aspal porus lapis ganda.

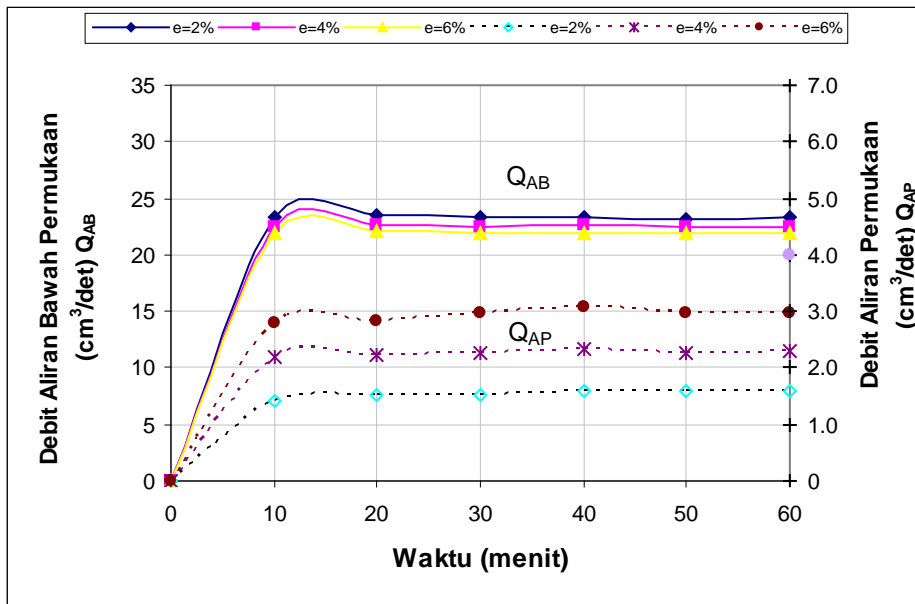
Tabel 4 Koefisien Permeabilitas Ekuivalen (k_e) dan Angka Reynold (R_e)

Benda Uji	Koef. Permeabilitas k_e			Angka Reynold (R_e)			Tipe Aliran		
	2%	4%	6%	2%	4%	6%	2%	4%	6%
AA	7,115	6,380	5,644	0,360	0,323	0,285	L	L	L
AB	7,774	7,506	7,310	0,393	0,380	0,370	L	L	L
Rata-rata:	7,444	6,943	6,477	0,377	0,351	0,328	Laminer (L)		
BA	8,185	7,997	7,885	0,461	0,450	0,444	L	L	L
BB	8,189	8,032	7,781	0,461	0,452	0,438	L	L	L
Rata-rata:	8,187	8,014	7,833	0,461	0,451	0,441	Laminer (L)		
CA	8,271	8,272	8,275	0,466	0,466	0,466	L	L	L
CB	8,299	8,294	8,258	0,467	0,467	0,465	L	L	L
Rata-rata:	8,285	8,283	8,266	0,467	0,467	0,466	Laminer (L)		

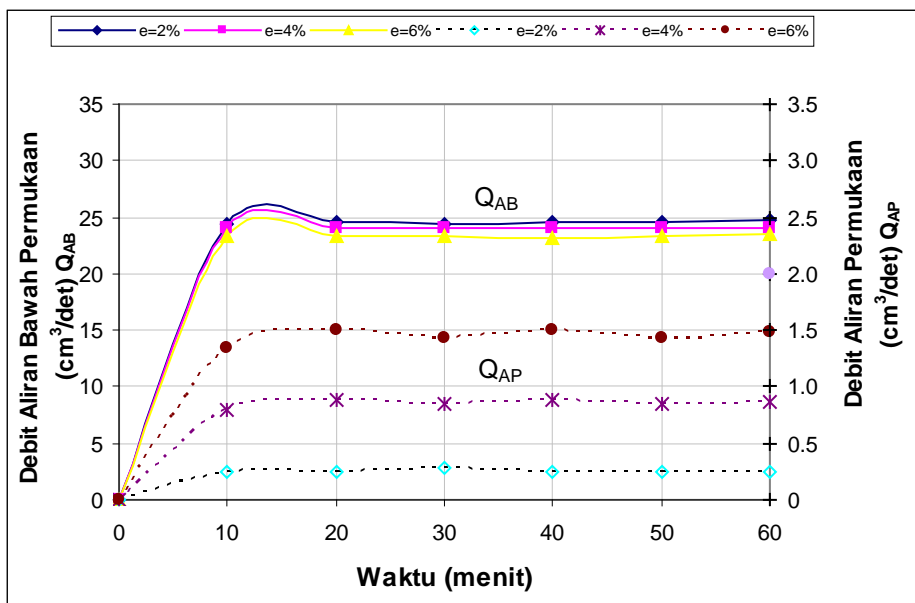
Propertis hidrolis (k_e) terjadi kecenderungan menurun seiring peningkatan kemiringan benda uji. Demikian juga nilai angka Reynold (R_e) yang menjadi indikator tipe aliran juga menurun seiring peningkatan kemiringan benda uji. Secara keseluruhan tipe aliran yang terjadi pada aspal porus lapis ganda untuk semua tipe kombinasi benda uji adalah laminer ($R_e < 1$), berarti hukum Darcy tetap berlaku pada aspal porus lapis ganda.

Debit aliran permukaan (Q_{AP}) dan aliran bawah permukaan (Q_{AB}) dengan variasi kemiringan permukaan jalan 2%, 4% dan 6% untuk ketiga jenis kombinasi benda uji disajikan pada Gambar 3 (A.10/14), Gambar 4 (B.10/20) dan Gambar 5 (C.14/20).

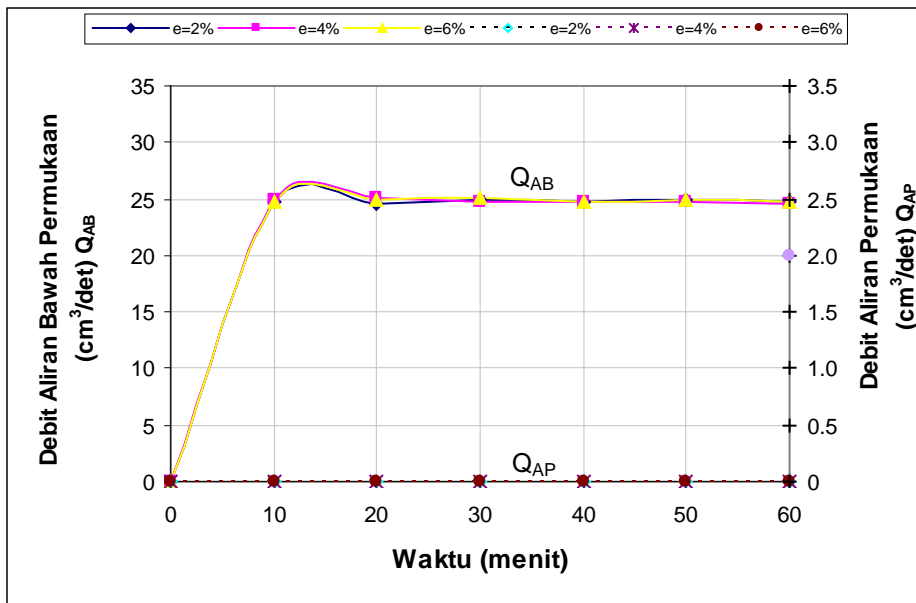
Hasil pengamatan menunjukkan debit aliran bawah permukaan sangat dominan dibandingkan dengan debit aliran permukaan. Semakin tinggi kadar rongga lapis porus ganda dapat menyerap air semakin besar, sebaliknya debit aliran permukaan menurun bahkan mencapai nol pada kombinasi benda uji C.14/20 dengan kadar rongga menerus sebesar 15,015%–16,533%. Ketiga gambar di atas menunjukkan tren yang sama yaitu pada 20 menit pertama diperoleh debit aliran yang tidak konsisten. Hal tersebut disebabkan masih terjadi proses penjenjuran, setelah itu debit yang terukur cukup stabil. Dapat disimpulkan bahwa aspal porus lapis ganda cukup efektif untuk regulasi debit aliran drainase dan badan air lainnya.



Gambar 3 Debit Aliran Bawah Permukaan (Q_{AB}) dan Aliran Permukaan (Q_{AP}) (A.10/14)



Gambar 4 Debit Aliran Bawah Permukaan (Q_{AB}) dan Aliran Permukaan (Q_{AP}) (B.10/20)



Gambar 5 Debit Aliran Bawah Permukaan (Q_{AB}) dan Aliran Permukaan (Q_{AP}) (C.14/20)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kadar rongga menerus dengan Metode Archimedes lebih kecil $\pm 1\%$ dibandingkan dengan Metode Perancis berarti terjadi perbedaan yang tidak signifikan. Semakin besar diameter agregat maksimum menghasilkan kadar rongga menerus semakin besar dengan koefisien permeabilitas ekuivalen juga semakin meningkat.

Koefisien permeabilitas ekuivalen (k_e) aspal porus lapis ganda meningkat dari 0,264 cm/detik kombinasi A(10/14) menjadi 0,288 cm/detik kombinasi B(10/20). Peningkatan yang lebih signifikan diperoleh pada kombinasi C(14/20) sebesar 0,401 cm/detik dengan kadar rongga menerus 16,533% dan rongga total 21,256%.

Sifat-sifat drainase aspal porus lapis ganda khususnya aliran bawah permukaan sangat dominan mencapai 99% dibandingkan dengan aliran permukaan untuk semua variasi kemiringan melintang jalan.

Kombinasi perkerasan aspal porus lapis ganda yang mempunyai kapasitas drainase paling efektif adalah kombinasi C(14/20) diperoleh $k_e = 0,401$ cm/detik dan tidak terjadi aliran permukaan pada intensitas curah hujan 600 mm/jam untuk semua variasi kemiringan permukaan jalan.

Perlu diadakan penelitian lanjutan tentang kinerja permeabilitas seiring dengan meningkatnya masa layan dan pengaruh cuaca terhadap penurunan kadar rongga serta penurunan hidrolis konduktivitasnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada: Triyono Utomo, Desy Elmasari dan Firmansyah Jailani yang telah membantu pelaksanaan penelitian Research Grant yang disponsori oleh DUE Project. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Laboratorium Inti Jalan Raya dan Hidrolika beserta staff, atas bantuan dan izin pemakaian fasilitas laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Australian Asphalt Pavement Association. 1977. *Open Graded Asphalt Design Guide*.
- Colwill, D.M. 1977. *Hydraulic Conductivity of Porous Asphalt*. European Conference on Porous Asphalt, Madrid.
- Diana, I.W. 2001. Pengaruh Kemiringan Permukaan Jalan Terhadap Kinerja Aliran Air pada Aspal Porus. *Jurnal Penelitian Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, edisi Juni.
- Diana, I.W., Siswosoebrotho, B.I., dan Karsaman, R.H. 2000. *Sifat-Sifat Teknik dan Permeabilitas Pada Aspal Porus*. Makalah disajikan dalam Simposium III FSTPT UGM, Yogyakarta.
- Ganga Y., Arpino J., Fleury M., Goyon V., dan Poirier, J.C. 1977. *The New Generation Of Pervious Macadams State Of The Art*. European Conference on Porous Asphalt, Madrid.
- Gupta, Ram S. 1989. *Hydrology and Hydraulic Systems*. New Jersey: Prentice Hall, Engle Wood Cliffs.
- Maruyama, T. 1995. *Application Advantages of Porous Asphalt*. Short Course Heds-Jica. Bandar Lampung: Unila.
- Olah Bumi Mandiri, PT. 1998. *Advanced Road Construction and Asphalt Technology*. Jakarta.