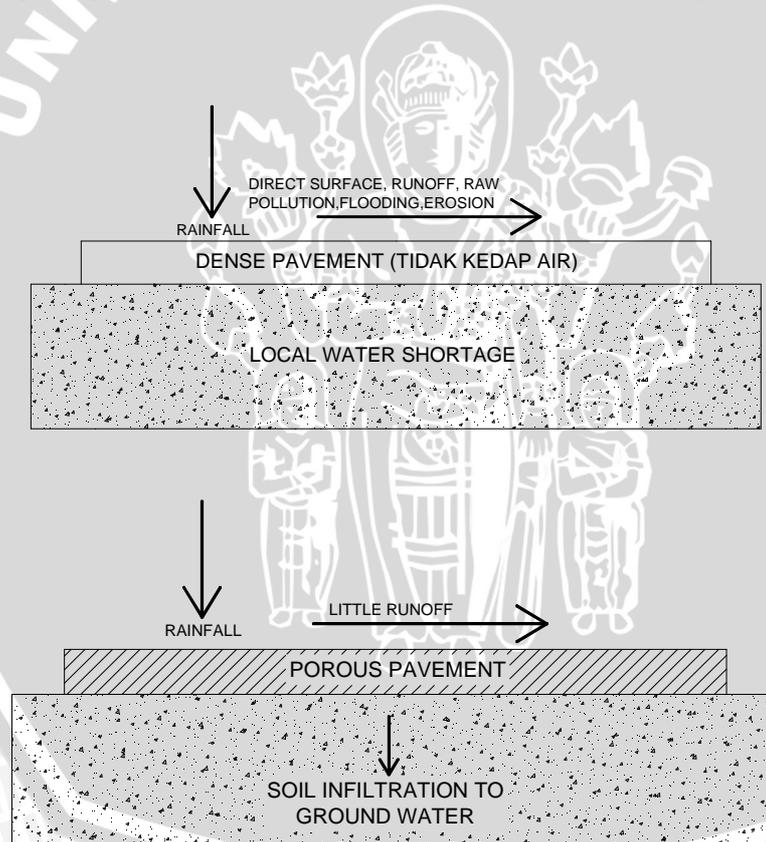


BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Tembus Air (*Porous Pavement*)

Porous pavement atau porous pavement adalah perkerasan yang dibuat dengan menggunakan material yang memungkinkan terjadinya perembesan aliran air ke dalam lapisan tanah di bawahnya. (steven&Kurt). Sedangkan menurut K. Ferguson, porous pavement merupakan perkerasan yang dibuat dengan memberikan ruang kosong untuk aliran air dan udara. Ini merupakan cara yang paling radikal dan yang paling cepat berkembang untuk mengembalikan sebagian besar lingkungan perkotaan. seperti ditunjukkan pada **gambar 2.1**, porous pavement menghasilkan limpasan air hujan lebih sedikit dibandingkan perkerasan konvensional (maria cahilil, *green girl land development solutions*).



Gambar 2.1 Pengaruh hidrologi perkerasan kaku dan perkerasan porous. Sumber : K. Ferguson (2005)

Dari segi ekonomi, penggunaan *porous pavement* akan mengurangi biaya drainase karena penggunaan porous pavement akan mengalirkan air ke permukaan tanah tanpa perlu saluran drainase. Penggunaan *porous pavement* juga dapat mengurangi polutan di jalan.

Rongga kosong pada *porous pavement* merupakan tempat tumbuhnya berbagai macam bakteri sehingga dapat mengurai polutan polutan yang akan mengalir menuju tanah asli.

Porous pavement cocok untuk tempat parkir, jalur berjalan, trotoar, taman bermain, plaza, lapangan tenis, dan kegunaan sejenis lainnya. Jika dibangun dengan benar dan diperlihara dengan baik, porous pavement memiliki rentang hidup yang signifikan dan dapat berfungsi hingga 20 tahun.(BMPs section 6 p.204). Berdasarkan material yang digunakan dan cara pemasanganya, *porous pavement* dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu :

1. Tipe *infiltration*, yaitu air permukaan merembes secara langsung ke dalam tanah melalui celah antara unit paving. Tipe ini merupakan tipe *porous pavement* yang banyak di jumpai. Celah antar material ini diisi penuh atau tidak penuh dengan material yang tembus air seperti pasir atau rumput. Material *paving* yang digunakan dapat berupa unit material yang kedap air maupun material yang tembus air
2. Tipe *porous*, yaitu air permukaan yang merembes ke dalam perkerasan jalan melalui permukaan unit paving itu sendiri. Unit paving dapat dipasang rapat tanpa jarak antara dan maerial paving yang digunakan harus merupakan material yang berpori dan tembus air.

2.2. Komponen *Porous Pavement*

Porous pavement memiiki beberapa lapisan, hampir sama dengan perkerasan lentur, terdapat lapisan permukaan atas, lapisan pondasi dan lapisan tanah asli. Material dan bentuknya harus di pilih sesuai dengan kebutuhan masing masing pekerjaan. Material yang digunakan pada *porous pavement* pada dasarnya hampir mirip dengan material perkerasan kedap air. Hanya saja material tersebut telah didesain atau direkayasa secara khusus sehingga memiliki kemampuan untuk meresapkan air.

2.2.1. Lapisan permukaan atas

Ada empat macam material lapisan permukaan atas perkerasan porous, masing masing memiliki biaya, metode pemasangan, tingkat kinerja, persyaratan pemeliharaan, keuntungan dan kerugian yang berbeda beda, berikut sebagai contoh:

1. Tanah berumput, penggunaanya paling banyak dijumpai. Menghadirkan permukaan yang tampak seperti padang rumput biasa dan jika dipasang secara

- baik dapat digunakan sebagai perkerasan untuk menanggung beban lalu lintas yang cukup berat seperti lahan parkir.
2. *Open-jointed block*, merupakan unit balok *paving* beton atau *conblok* yang memiliki rongga sebagai tempat mengalirnya air. Penggunaannya dapat divariasikan dengan penamaan rumput dan memberikan tekstur arsitektural yang lebih indah.
 3. *Porous concrete*, merupakan beton yang hanya memakai sedikit pasir sebagai campurannya sehingga menimbulkan rongga sehingga dapat mengalirkan air ke dalam tanah
 4. Teknologi *Porous asphalt* merupakan aspal yang tidak menggunakan agregat halus untuk menimbulkan rongga sehingga dapat mengalirkan air ke dalam tanah.

Lapisan permukaan atas langsung menerima beban lalu lintas dan mengalami efek abrasi akibat lalu lintas. Lapisan permukaan dibuat dengan bahan khusus dan relatif mahal untuk menahan abrasi dan memberikan kualitas penampilan dan aksesibilitas yang baik. Sangat penting untuk memilih tipe perkerasan yang tepat. Lokasi pembangunan harus dianalisis secara rinci untuk mendapatkan bahan perkerasan yang optimal dan dapat digunakan. Setiap lapisan harus dioptimalkan untuk melayani fungsi jalan dan struktur secara keseluruhan yang akan dibangun dengan biaya paling memungkinkan.

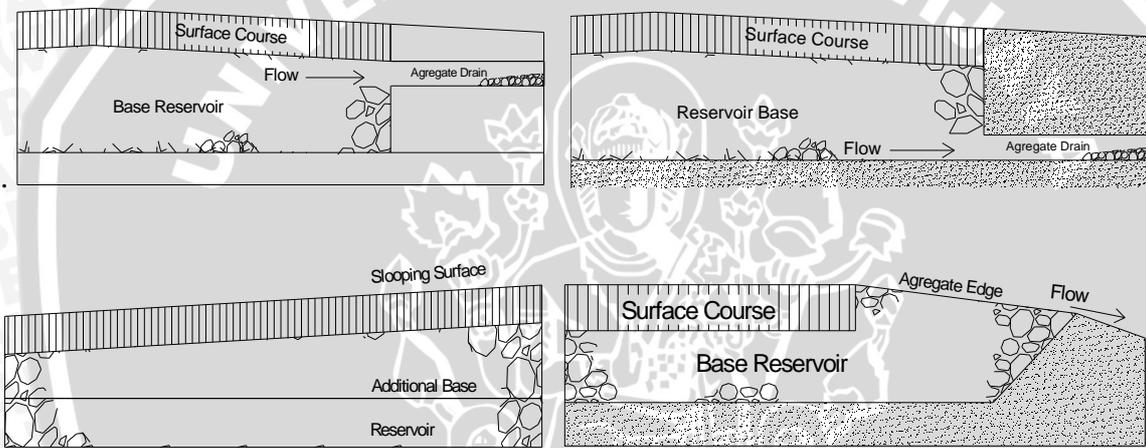
2.2.2. Subbase / Reservoir Course

Dalam rekayasa jalan raya, *subbase* merupakan lapisan material agregat yang diletakkan pada tanah dasar. Berfungsi untuk menyebarkan beban merata di atas tanah dasar, oleh karena itu material yang digunakan harus berkualitas tinggi dan pelaksanaan konstruksi harus dilakukan secara cermat. Bahan yang digunakan dapat berupa batu pecah.

Dalam struktur *porous pavement*, lapisan *sub base* bisa juga disebut lapisan *reservoir*. Disebut demikian karena fungsi utamanya selain untuk menahan beban jalan, tapi juga digunakan untuk tempat mengalirnya air dari permukaan atas jalan hingga tanah asli paling bawah. (Bruce K. Ferguson, *dimension of porous pavement installations*, p. 38). Saat air berinfiltrasi ke dalam tanah, limpasan air akan berkurang, selain itu juga dapat mempertahankan akuifer air tanah. Selain itu, lapisan *reservoir* juga berfungsi untuk menyimpan air sebelum mengalir menuju pipa drainase atau ke dalam tanah. Volume

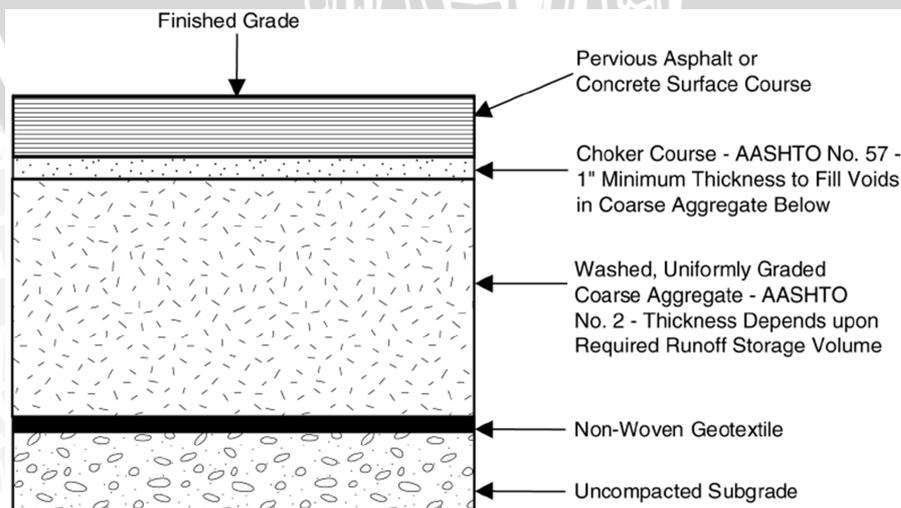
penyimpanan air merupakan pori pori udara antara partikel partikel agregat. Semakin besar volume pori udara, semakin besar volume air yang dapat ditampung. Secara umum, fungsi hidrologi dan struktural dari bahan perkerasan digabung menjadi suatu lapisan yang disebut lapisan *base reservoir*.

Lapisan *base reservoir* memberikan ketebalan perkerasan jalan dengan bahan yang relatif murah untuk menyebarkan beban lalu lintas. Jika perlu, *sub base* ditambahkan penebalan struktur perkerasan untuk menyimpan lebih banyak air sebelum dibuang ke pipa atau meresap ke tanah. **Gambar 2.2** menunjukkan beberapa variasi bentuk dari reservoir, underlevel dan permukaan perkerasan miring. Secara umum, perkerasan *porous pavement* dapat ditunjukkan pada **gambar 2.3**



Gambar 2.2 Gambar Berbagai macam bentuk lapisan *base reservoir*.

Sumber : K. Ferguson (2005)



Source: Cahill Associates.

Gambar 2.3 Potongan Melintang Perkerasan Porous. Sumber : BMP Manual (2004)

2.3. Material Penyusun Porous Pavement

Dilihat dari jenisnya, agregat untuk konstruksi jalan terdiri dari dua macam, yaitu :Asli, dalam bentuk pasir , kerikil, atau batu sungai. Buatan pabrik meliputi letusan bara api dan berbagai produk dari tanah lempung, atau batuan gunung. Dari **tabel 2.1** menunjukkan gradasi dari standart ASTM sedangkan **tabel 2.2** menunjukkan gradasi dari standart Bina Marga.

Tabel 2.1 Gradasi dan pematatan lapisan *choker, filter dan reservoir*.

US Standart Sieve Size (Inches/mm)	Percent Passing (%)	
	Reservoir Course (AASHTO No. 3)	Reservoir Course (AASHTO No. 5)
6/150	-	-
2,5/64	100	-
2/50	90-100	100
1,5/37,5	35-70	90-100
1/25	0-15	20-55
0,75/19	-	0-10
0,5/12,5	0-5	0-5
3/8 /9,5	-	-
#4/4,75	-	-
% Compaction	95	95

Sumber : UNHSC (2009)

Tabel 2.2 Gradasi agregat standart Bina Marga

No	Susunan ayakan Bukaan (mm)	Persentasi Lolos		
		Kelas A	Kelas B	Kelas C
2"	38,1	-	100	-
1,5"	19	100	88 – 95	100
1"	9,5	79 – 85	70 – 85	-
3/8 "	4,75	44 – 48	30 – 65	51-75
No.4	2,36	29 – 44	25 – 55	-
No.10	1,18	17 – 30	15 – 40	-
No.40	0,425	7 – 17	8 – 20	18-36
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	10-22

Sumber : Bina marga

Berbagai gradasi pada **tabel 2.1** dan **tabel 2.2** memiliki *range* masing masing yang dapat digunakan sebagai variasi benda uji. Material yang digunakan harus dibersihkan dulu dari debu dan partikel partikel yang menempel di agregat kasar, supaya tidak berpotensi menghambat laju air. Material yang digunakan dibatasi hingga yang tertinggal disaringan nomer 4. Karena yang lolos saringan nomer 4 berupa butiran halus yang mengisi pori

Tabel 2.3 Sifat sifat Lapis Pondasi Agregat

Sifat Sifat	Kelas A	Kelas B
Abrasi dari agregat kasar (SNI – 03 – 2417 - 1990)	0 – 40%	0- 40%
Indeks Plastisitas	0 – 6	0 – 10
Batas Cair (SNI 03 – 1967 – 1990)	0 – 25	0 – 25
CBR (SNI 03 – 1744 – 1989)	Min 90%	Min 60%

Sumber : spesifikasi umum div. 5 perkerasan berbutir Bina Marga

2.4. Struktur Perkerasan

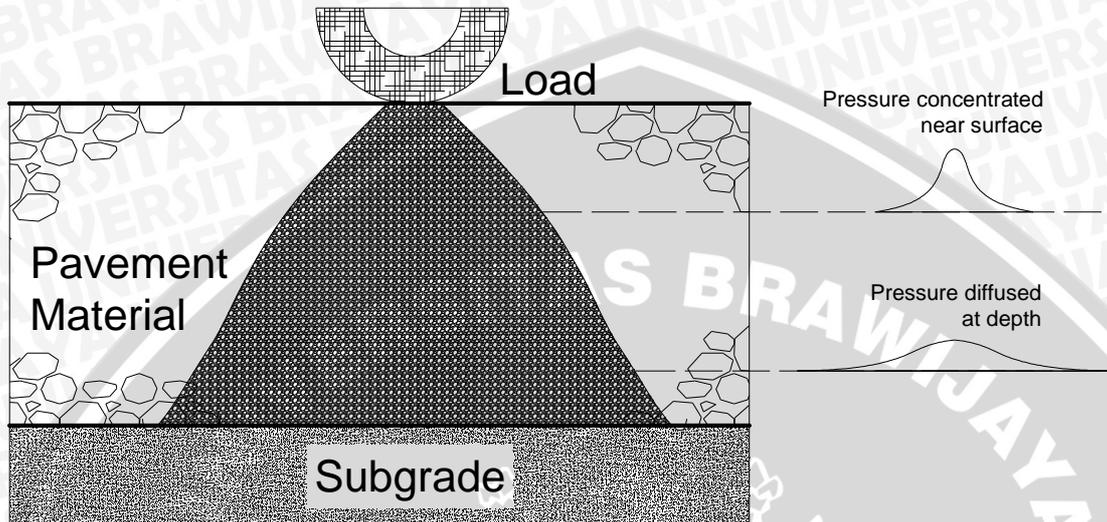
Kondisi perkerasan cenderung menurun dari waktu ke waktu. (Bruce k. Ferguson, *porous pavement structure* p. 70). Dalam beberapa periode, perkerasan memerlukan semacam perawatan. jika perkerasan jalan rusak sebelum waktunya itu tidak akan menjadi bencana seperti runtuhnya bangunan tapi itu merupakan kerugian dan gangguan kepada masyarakat pengguna jalan. tujuan desain struktur perkerasan adalah untuk menghasilkan sebuah struktur perkerasan yang akan mempertahankan kondisi seperti yang diinginkan untuk waktu yang lama. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memilih bahan perkerasan yang cocok untuk beban lalu lintas. **Tabel 2.4** menunjukkan beberapa kerusakan perkerasan jalan

Tabel 2.4 Berbagai macam kerusakan perkerasan jalan

<i>Mode of Distress</i>	<i>Contributing Factors</i>
Penurunan atau retak lebar	Beban berulang akibat kendaraan, temperatur dan perubahan kadar air
Distortion	Beban berulang, tanah swelling, penurunan parsial, temperatur dan perubahan kadar air
Disintegration	Abrasi akibat lalu lintas, reaksi kimia, cuaca, kehilangan daya ikat

Sumber : K. Ferguson (2005)

Salah satu tujuan utama dari struktur perkerasan adalah untuk melindungi tanah dasar dari beban. (Bruce K. Ferguson, *porous pavement structure* p. 71). Konsep utamanya, beban menyebar kebawah sejauh ketebalan perkerasan. Seperti ditunjukkan pada **gambar 2.4**, semakin dalam perkerasan, tegangan yang terjadi semakin kecil.



Gambar 2.4 Penyebaran beban lalu lintas pada kedalaman perkerasan. Sumber K. Ferguson (2005)

Pengukuran nilai daya dukung yang relatif mudah dimengerti adalah California Bearing Ratio (CBR), dikembangkan oleh Departemen Jalan Raya California tahun 1920. CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (test load) dengan beban Standar (Standard Load) dan dinyatakan dalam persentase.

$$CBR = \frac{p}{p_s} \times 100\% \quad (2 - 1)$$

Dimana : p = beban percobaan (test load)

p_s = beban standart (standart load)

Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban. Prosedure pelaksanaan percobaan CBR mengacu pada Bina Marga, PB –Q113 – 76 , ASTM D-1883-73 dan AASHTO T-193-81.

Nilai CBR dikembangkan untuk mengukur kapasitas daya dukung beban tanah yang digunakan sebagai jalan. CBR juga dapat digunakan untuk mengukur kapasitas daya dukung beban perkerasan jalan. Semakin keras suatu material, semakin tinggi rating CBR.

CBR dari 3 sama dengan tanah pertanian, CBR 4,75 setara dengan tanah liat lembab, sementara pasir lembab memiliki CBR 10. batu hancur memiliki CBR lebih dari 80. Bahan standar untuk tes ini dihancurkan California batu kapur yang memiliki nilai 100. **Tabel 2.5** menunjukan beberapa nilai CBR masing masing material

Tabel 2.5 Nilai umum CBR berbagai material

Material	CBR %
agregat pecah padat-bergradasi biasanya digunakan untuk dasar perkerasan	100
agregat alami padat-bergradasi biasanya digunakan untuk dasar perkerasan	80
Batu Kapur	80
Pasir campuran	50 – 80
Pasir berbutir kasar	20 – 50
Pasir berbutir halus	10 – 20
Tanah Lempung	<3

Sumber : Rollings and Rollings (1996)

Tabel 2.6 merupakan daftar penilaian relatif nilai CBR pada struktur lapisan perkerasan jalan, dimana beban lalu lintas yang paling dominan. Nilai CBR rendah pada lapisan *subgrade* dapat diterima karena lapisan *subgrade* terlindungi dari beban lalu lintas oleh lapisan lapisan di atasnya. CBR sangat berguna di berbagai aspek desain perkerasan jalan karena sederhana dan memiliki ukuran yang tetap.

Tabel 2.6 Rating relatif nilai CBR pada lapisan struktur perkerasan jalan

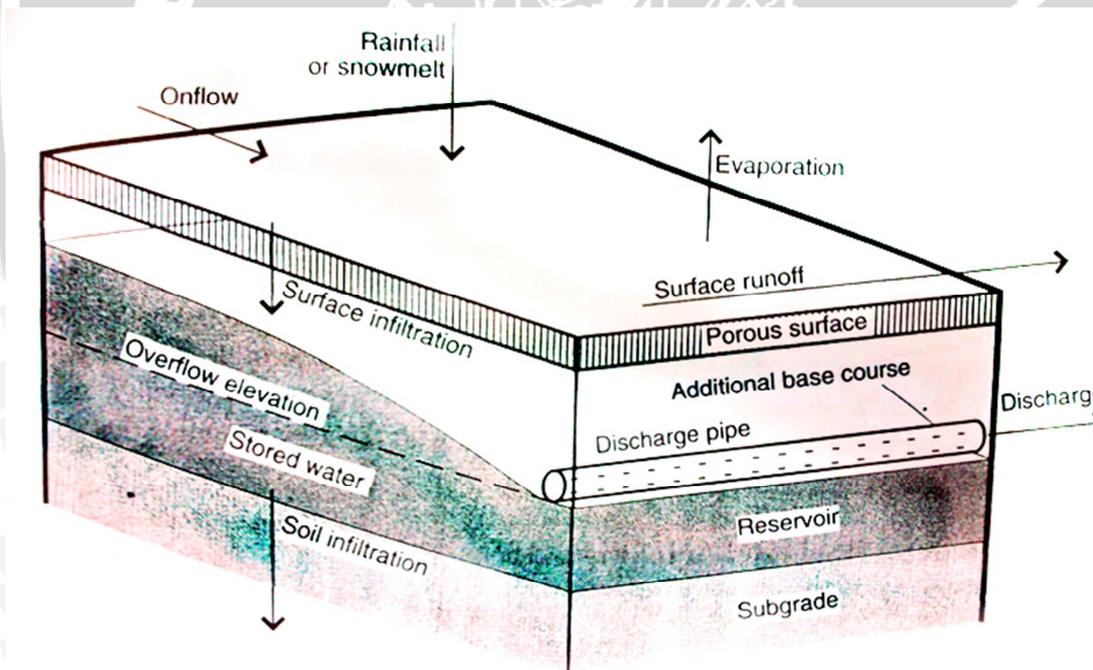
	CBR in Base	CBR is Subbase	CBR in Subgrade
<i>Excellent</i>	100	50	-
<i>Good</i>	80	40	12+
<i>Fair</i>	-	30	9 – 12
<i>Poor</i>	50	-	4 – 8
<i>Very poor</i>	-	-	<4

Sumber : Rollings and Rollings (1992)

2.5. Hidrologi Porous Pavement

Proses hidrologi perkerasan jalan porous dimulai dari air hujan di atas permukaan, sebagian kecil dilimpaskan keluar menuju sistem drainase, sebagian besar masuk kedalam struktur perkerasan hingga masuk kedalam tanah asli. penyimpanan dalam perkerasan reservoir membutuhkan waktu antara kecepatan arus masuk dan keluar. Penguapan mengangkat air kembali ke atmosfer pada setiap lapisan. **Gambar 2.5** merangkum fungsi utama hidrologi dan proses yang dapat terjadi dalam sebuah porous pavement.

Infiltrasi merupakan proses turunya aliran air dari permukaan tanah kedalam struktur tanah. Laju maksimal gerakan air masuk kedalam tanah dinamakan kapasitas infiltrasi. Ketika air hujan jatuh pada permukaan tanah, sebagian air hujan akan masuk kedalam tanah melalui pori pori permukaan tanah yang sangat tergantung pada kapasitas infiltrasi tanah, dimana kapasitas infiltrasi tergantung pada permeabilitas dan diameter pori pori tanah (Asdak, 1995)



Gambar 2.5: fungsi utama hidrologi perkerasan porous. Sumber : K. Ferguson (2005)

Permeabilitas tanah menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Struktur dan tekstur serta unsur organik lainnya ikut ambil bagian dalam menaikkan laju permeabilitas tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi menaikkan laju infiltrasi dan dengan demikian, menurunkan laju *runoff*. Ada dua cara untuk menentukan koefisien permeabilitas, yaitu dengan metode *falling head* dan *constant head*. *Falling head*

digunakan untuk tanah yang memiliki butiran halus dan memiliki koefisien permeabilitas yang rendah. Sedangkan *constant head* digunakan untuk tanah yang memiliki butiran kasar dan memiliki koefisien permeabilitas yang tinggi.

2.5.1. Pengujian *Constant Head*

Kecepatan permeabilitas perkerasan diukur dengan beberapa standart ASTM seperti *falling head* atau *constant head*. (Bruce K. Ferguseon, porous pavement hydrology p.122) . Konsep dari pengujian *constant head* adalah berapa waktu yang diperlukan untuk mengisi sejumlah volume gelas ukur. Selain itu, tinggi benda uji, beda tekan aliran air, dan luas penampang juga berpengaruh dalam perhitungan nilai permeabilitas yang dituliskan seperti persamaan 2-2

$$k = \frac{V \cdot L}{A \cdot t \cdot h} \quad (2 - 2)$$

Dengan :

- V = Volume air yang terkumpul (cm³)
- L = Tinggi benda uji (cm)
- A = Luas Potongan melintang benda uji (cm²)
- t = Waktu pengisian gelas ukur (sec)
- h = Tinggi jatuh / head (cm)

Kecepatan infiltrasi permukaan perkerasan jalan berubah ubah seiring dengan waktu bergantung pada proses pemadatan, sedimentasi, *migration of pavement binder*, dan pertumbuhan vegetasi. (Bruce K. Ferguseon, *porous pavement hydrology* p.125). **Tabel 2.7** menunjukkan kecepatan infiltrasi beberapa permukaan perkerasan porous dalam keadaan jenuh air.

Tabel 2.7 Tabel kecepatan infiltrasi pada beberapa material perkerasan jalan

type permukaan	Kecepatan	referensi
	Infiltrasi inch/jam	
<i>unbound aggregate</i>		
<i>1" uniform size</i>	50000	AASHTO, 1986,p.AA-18
<i>1/2" uniform size</i>	15000	AASHTO, 1986,p.AA-18
<i>1/4" uniform size</i>	2500	AASHTO, 1983,p.AA-18
<i>0,09" to 0,75" in size</i>	1500	AASHTO, 1983,p.AA-19
<i>0,08" to 0,75" in size</i>	1300	AASHTO, 1983,p.AA-19
<i>Porous concrete</i>	670 to 900	Wingerter and Paine,1989
<i>porous asphalt</i>	170 to 500	St. John and Horner,1997
<i>dense concrete</i>	<0,00002	Rollings and rollings,1996
<i>dense asphalt</i>	0,00006 to 6	Rollings and rollings,1996

Sumber : K. Ferguson (2005)

2.5.2. Pengujian Porositas

Tanah terdiri dari butiran dengan ruang-ruang diantara butir-butir dikenal sebagai pori-pori. Pori-pori pada umumnya merupakan suatu campuran dari udara dan air. Porositas tanah erat kaitannya dengan tingkat kepadatan tanah (Bulk Density). Semakin padat tanah berarti semakin sulit untuk menyerap air, maka porositas tanah semakin kecil. Sebaliknya semakin mudah tanah menyerap air maka tanah tersebut memiliki porositas yang besar. Berikut 5 macam porositas :

1. *Porositas primer* yang merupakan ruang-ruang pori yang dimiliki pada batuan tersebut sehingga dapat menampung dan menyerap fluida. Contohnya Batu pasir.
2. *Porositas sekunder*: yang merupakan ruang-ruang atau pori yang dapat menyerap air atau menampung fluida tapi terbentuknya karena adanya proses lanjutan setelah pengendapan berupa disolusi atau kekar pada batuan tersebut. Contohnya adalah batuan gamping dan dolomit, pada gamping karena merupakan batuan yang dapat larut sehingga sering adanya gerohong pada batuan tersebut, gerohong tersebut yang berfungsi sebagai *porositas* di dukung dengan adanya kekar pada batuan tersebut.

3. *Porositas* bersambung merupakan porositas yang saling berhubungan dan membentuk jalur pada ruang porinya sehingga dapat memberikan aliran pada fluida dengan batasan tertentu.
4. *Porositas* Potensial merupakan *porositas* yang dapat memberikan aliran pada fluida pada batasan tertentu tergantung dari ukuran pori.
5. *Porositas* efektif merupakan *porositas* yang dapat memberikan aliran bagi fluida bebas bukan merupakan *porositas* yang bersambung dalam hal ini saya mengartikannya adalah *porositas* yang mempunyai *permeabilitas*.

Nilai porositas sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut :

1. Keseragaman butiran : semakin seragam butir penyusun batuan maka nilai porositasnya akan semakin besar, dilain pihak apabila ukuran butiran tidak seragam maka butiran yang lebih kecil akan mengisi ruang kosong diantara butiran yang lebih besar sehingga nilai porositas akan turun.
2. Derajat sementasi : semakin tinggi derajat sementasi maka pori-pori batuan yang tertutup semen akan semakin kecil, sehingga nilai porositas akan semakin kecil pula
3. Derajat kompaksi : semakin besar tekanan yang diberikan ketika proses pemadatan batuan maka akan membuat ukuran pori-pori semakin kecil dan akibatnya nilai porositas juga akan semakin kecil
4. Derajat angularitas : pada umumnya batuan dengan butiran yang memiliki *roundness* yang baik akan memiliki nilai porositas yang lebih baik daripada batuan dengan bentuk yang melancip.

Uji porositas tanah merupakan uji laboratorium yang digunakan untuk mengetahui persentase kadar air dan udara dalam tanah. Permasalahan dari penelitian ini adalah berapakah nilai porositas tanah pada tempat penelitian Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai porositas tanah pada tempat penelitian.

2.6. Penelitian Terdahulu

1. Skripsi Dian Indah Purnama Sari. 2008, Teknik Sipil Universitas Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat ukur untuk mengetahui technical properties dari *permeable pavement* untuk kelas jalan lingkungan dengan penggunaan material material yang tersedia di Indonesia. Alat ini didesain untuk mengukur kapasitas infiltrasi dan perubahan daya dukung jalan setelah terjadinya infiltrasi hujan.

2. Chilingarian. 1963 . *Effect of particle size on the permeability - porosity relationship in uniformly coarsed grained sampel*. Penelitian bertujuan untuk mengetahui hubungan antara permeabilitas dan porositas dalam berbagai jenis benda uji, salah satunya agregat kasar.
3. DOT Florida . 2007 . *compressive strenght of pervious concrete pavement*. Referensi ini merupakan panduan dalam mendesain perkerasan *porous concrete*. Disalah satu bab didalam panduan ini terdapat bab yang membahas hubungan antara CBR dan permeabilitas agregat kasar.

