



# Sistem Paving Block Lolos Air untuk Mendukung Konsep Water Sensitive Urban Design di Kecamatan Bayat Kabupaten Klaten

\*Desyta Ulfiana<sup>1</sup>, Novia Sari Ristianti<sup>2</sup>, Nurhadi Bashit<sup>3</sup>, Yudi Eko Windarto<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

<sup>2</sup>Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

<sup>3</sup>Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

<sup>4</sup>Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

\*)[desyta@live.undip.ac.id](mailto:desyta@live.undip.ac.id)

Received: 5 Desember 2021 Revised: 21 Juli 2022 Accepted: 22 Juli 2022

## Abstract

*Flood and drought conditions due to the global crisis occurred in Bayat District, Klaten Regency. This is due to the rural characteristics of the area, where land has been converted from forest to agricultural land and settlements. This condition causes rainwater cannot infiltrate into the ground, thereby increasing runoff and reducing groundwater reserves. Therefore, the concept of Water Sensitive Urban Design (WSUD) is applied to this location to reduce the risk of water disasters. One of the WSUD technologies that can be applied is the permeable paving block system. This system can help infiltrate water to the ground thereby reducing runoff that causes flooding and storing water to replenish groundwater reserves. The design is planned in the pilot area of Jotangan and Krikilan Villages, Bayat District by applying a partial exfiltration pavement system. The structural design of the pavement layers is in the form of a permeable paving block with a compressive strength of 21.29 MPa with a thickness of 10 cm, a bedding layer of 6 cm, an open-graded base of 18 cm, and a drain pipe with a capacity of 3,78 mm/hour. The permeable paving block system in the WSUD pilot area can reduce runoff by 62.64%.*

**Keywords:** *Water sensitive urban design, permeable pavement system, permeable paving block*

## Abstrak

*Kondisi bencana banjir dan kekeringan akibat krisis global terjadi di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten. Hal ini disebabkan karena karakteristik daerah yang merupakan rural area, dimana lahan mengalami konversi dari lahan hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman. Kondisi ini menyebabkan air hujan yang jatuh tidak dapat terinfiltrasi ke tanah sehingga meningkatkan debit limpasan air dan mengurangi cadangan air tanah. Oleh karena itu, konsep Water Sensitive Urban Design (WSUD) diterapkan pada lokasi ini agar dapat mengurangi risiko terjadinya bencana air. Salah satu teknologi WSUD yang dapat diterapkan adalah sistem paving block lolos air. Sistem ini dapat membantu peresapan air ke dalam tanah sehingga mengurangi limpasan air yang menyebabkan banjir dan menyimpan air sehingga dapat mengisi cadangan air tanah. Desain direncanakan pada kawasan percontohan Desa Jotangan dan Krikilan Kecamatan Bayat dengan menerapkan sistem perkerasan partial exfiltration. Desain struktur lapisan perkerasan secara berurutan adalah berupa permeable paving block dengan kuat tekan 21,29 MPa setebal 10 cm, bedding layer setebal 6 cm, open graded base setebal 18 cm dan pipa drain dengan kapasitas 3,78 mm/jam. Sistem paving block lolos air di kawasan percontohan WSUD ini dapat menurunkan limpasan air hujan sebesar 62,64%.*

**Kata kunci:** *Water sensitive urban design, sistem perkerasan lolos air, paving block lolos air*

## Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang mengalami dampak akibat perubahan iklim global.

Pada musim hujan terjadi banjir akibat intensitas hujan yang tinggi dan berkurangnya resapan air ke dalam tanah. Sebaliknya pada musim kemarau, terjadi bencana kekeringan dan krisis air karena

berkurangnya suplai air tanah. Kondisi banjir dan kekeringan tersebut bahkan dapat terjadi pada satu wilayah yang sama. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan pengelolaan wilayah yang terdampak bencana tersebut.

Salah satu kabupaten yang memiliki risiko tinggi terhadap bencana banjir dan kekeringan adalah Kabupaten Klaten (BPBD Jawa Tengah, 2015). Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Ulfiana *et al.* (2020) dan Windarto *et al.* (2020) menunjukkan bahwa Kecamatan Bayat merupakan daerah yang memiliki potensi risiko tinggi bencana banjir dan juga kekeringan yang didasarkan pada indikator tingkat kelerengan, tata guna lahan, jenis tanah, kondisi geologi, dan besar curah hujan. Desa Krikilan dan Jotangan merupakan daerah di Kecamatan Bayat yang memiliki karakteristik sebagai *rural area* dengan tingkat kerawanan tinggi terhadap bencana kekeringan dan banjir.

Banjir terjadi diakibatkan oleh rendahnya kemampuan tanah di kawasan ini untuk menyerap air atau minimnya kapasitas saluran air untuk memobilisasikan limpasan air. Oleh karena itu, pada saat musim penghujan, kawasan ini mengalami banjir, sedangkan pada musim kemarau kawasan ini mengalami kekeringan. Menurunnya kemampuan daya serap tanah kawasan ini diakibatkan oleh faktor konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian/permukiman di Desa Jotangan dan Desa Krikilan. Konversi lahan ini menyebabkan semakin besarnya tutupan lahan yang terbuat dari aspal, beton dan material yang *impermeable* lainnya.

Permasalahan air yang terjadi pada wilayah Desa Jotangan dan Desa Krikilan tersebut dapat diatasi dengan konsep *Water Sensitive Urban Design* (WSUD). Konsep WSUD ini merupakan pendekatan dan perancangan kota yang berhubungan dengan sumber air dan manajemen lingkungan serta pengurangan dampak bencana (Dannowski, 2004; Sharma *et al.*, 2016). Tujuan penerapan konsep WSUD ini adalah menangani permasalahan air yang ada di permukaan tanah dengan pendekatan infrastruktur ramah lingkungan yang berbasis pada manajemen siklus hidrologi (Ahammed, 2017; Lokita, 2011). Konsep WSUD diterapkan dengan melakukan integrasi siklus hidrologi pada suatu wilayah seperti air hujan, air tanah, dan air bersih yang bertujuan untuk meminimalkan kerusakan lingkungan. Salah satu infrastruktur yang dapat digunakan dalam perencanaan WSUD suatu kawasan rawan bencana air adalah *permeable pavements* (Beecham *et al.*, 2012; Kazemi *et al.*, 2018; Radcliffe, 2019). *Permeable pavements* merupakan teknologi WSUD yang bertujuan untuk mengatasi masalah bencana

air dengan memungkinkan infiltrasi air hujan melalui permukaan yang keras dan menyimpan air hujan sementara (Kazemi & Hill, 2015).

Penggunaan *permeable pavements* pada kawasan Desa Jotangan dan Desa Krikilan ini didasarkan pada *built area* pada kawasan yang belum mempertimbangkan daya serap air tanah. Pada lapangan, halaman rumah dan tempat parkir masih menggunakan material semen atau beton sebagai tutupan lahannya. Hal ini dapat meningkatkan genangan dan limpasan saat debit air tidak mampu ditampung saluran drainase yang ada. Sehingga, dibutuhkan solusi dari permasalahan tersebut untuk memastikan bahwa penggunaan perkerasan pada kawasan tetap memperhatikan daya serap air ke dalam tanah dengan menggunakan *permeable pavements*.

*Permeable pavements* merupakan alternatif yang dapat digunakan pada permukaan perkerasan seperti jalan, trotoar, dan lahan parkir untuk meningkatkan daya serap permukaan terhadap *stormwater* melalui lapisan tanah (Antunes *et al.*, 2018; Zhu *et al.*, 2019). Namun di Indonesia penggunaan *permeable pavements* masih sangat sedikit dan mayoritas menggunakan perkerasan konvensional yang lebih murah dan mudah dalam pembuatannya seperti beton dan aspal. Walaupun penggunaan perkerasan konvensional saat ini lebih menguntungkan namun memiliki efek jangka panjang yang buruk terhadap lingkungan akibat sifatnya yang *impermeable*. Sifat ini bisa memperbesar tingkat limpasan air dan mengurangi resapan sehingga terjadi genangan air hingga banjir. Selain itu, juga akan terjadi krisis air bersih jika tidak dilakukan konversi dari perkerasan konvensional ke perkerasan yang lebih ramah lingkungan (Singh *et al.*, 2020).

Sistem paving block beton lolos air merupakan salah satu sistem *permeable pavement* yang terdiri dari tiga lapisan utama yaitu *permeable concrete paving block*, *bedding layer* dan *open graded base* (OGB). Sistem ini dapat meningkatkan resapan air ke dalam tanah dan mengurangi kemungkinan terjadinya genangan air pada permukaan padat seperti jalan dan tempat parkir sehingga cocok untuk area rencana di Desa Krikilan dan Jotangan Kecamatan Bayat yang memiliki tanah asli yang memiliki infiltrasi tanah rendah.

Sistem pemasangan *paving block* selama ini masih dibangun di atas tanah asli tanpa adanya lapisan khusus tertentu. Hal tersebut dapat mempengaruhi resapan air ke tanah asli jika tanah asli dalam keadaan jenuh air atau memiliki nilai infiltrasi tanah yang rendah. Hal ini menyebabkan air tidak dapat meresap ke dalam tanah meskipun paving block

yang dipasang sudah merupakan *permeable paving block* sehingga menyebabkan genangan air. Oleh karena itu, salah satu lapisan penting dalam sistem perkerasan ini adalah lapisan OGB. Lapisan OGB merupakan lapisan yang berfungsi sebagai penampung sementara air hujan sebelum mengalami infiltrasi ke lapisan tanah dasar. Sistem perkerasan ini dikembangkan oleh Smith (2006).

Berdasarkan permasalahan tersebut, direncanakan sebuah kawasan kecil percontohan WSUD di Desa Jotangan dan Krikilan dengan menerapkan sistem paving block lolos air di area lahan parkir kawasan percontohan seperti terlihat pada Gambar 1. Kawasan percontohan ini merupakan *pilot area* yang digunakan untuk melihat seberapa besar pengaruh perencanaan WSUD, terutama pemasangan *permeable pavement*, terhadap debit limpasan air. Perencanaan *permeable pavement* yang sesuai diharapkan mampu menurunkan debit limpasan air dan meningkatkan resapan air hujan.



Gambar 1. Area perencanaan pemasangan sistem paving block lolos air

## Metode Penelitian

### Analisa Lokasi Penelitian

Desain sistem paving block lolos air ini direncanakan di ruang terbangun Desa Krikilan dan Jotangan. Luas rencana penerapan sistem paving block lolos air yaitu pada lahan parkir seluas 4600 m<sup>2</sup>. Pada perencanaan sistem perkerasan ini, perlu dilakukan analisa pula terhadap pengaruh limpasan air eksternal. Limpasan air eksternal ini akan mempengaruhi tebal lapisan OGB yang akan digunakan. Pada lokasi perencanaan lahan parkir ini, luas area limpasan air eksternal adalah seluas 8537 m<sup>2</sup> seperti terlihat pada Gambar 2.

Metode NCRS digunakan untuk menentukan besarnya limpasan air eksternal yang terjadi. Besar limpasan air eksternal ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 berikut (United States Department of Agriculture, 1986).

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{(P-I_a)+S} \quad (1)$$

Dimana Q adalah limpasan air eksternal (mm), P adalah curah hujan rencana (mm),  $I_a$  adalah *initial abstraction* = (0,05 - 0,20) S (Adidarma, 2013) dan S adalah potensi retensi maksimum setelah limpasan dimulai (mm).



Gambar 2. Area rencana perkerasan dan area eksternal yang berpengaruh

Metode NRCS ini memerlukan nilai CN area eksternal. Dalam menentukan besar nilai CN untuk area eksternal diperlukan data tata guna lahan dan tanah asli. Desa Jotangan dan Krikilan tersebut merupakan area pemukiman dengan jenis tanah *silty clay*. Jenis tanah *silty clay* merupakan tanah liat dengan tekstur halus sehingga tergolong dalam *hydrologic soil group* (HSG) D seperti terlihat pada Tabel 1 tentang klasifikasi HSG (Shadeed & Almasri, 2010). Sedangkan, nilai CN untuk area pemukiman adalah 87 seperti terlihat pada Tabel 2 (Ramadan, 2018).

Tabel 1. *Hydrologic soil group* (Shadeed & Almasri, 2010)

HSG	Jenis Tanah
A	Pasir, pasir berlempung, lempung berpasir
B	Lempung, debu, lempung berdebu, lempung berpasir sangat halus
C	Lempung berliat, lempung liat berdebu, lempung liat berpasir
D	Liat, liat berdebu, liat berpasir, liat

Tabel 2. Nilai CN (Ramadan et al., 2018)

Tata guna lahan	<i>Hydrologic soil group</i>			
	A	B	C	D
Air tawar	100	100	100	100
Hutan	57	73	82	86
Kebun	57	73	82	86
Padang rumput	72	82	87	89
Pemukiman	61	75	83	87
Rawa	100	100	100	100
Sawah	62	71	78	81
Sawah tadah hujan	72	81	88	91
Semak	48	67	77	83
Tanah ladang	66	77	85	89

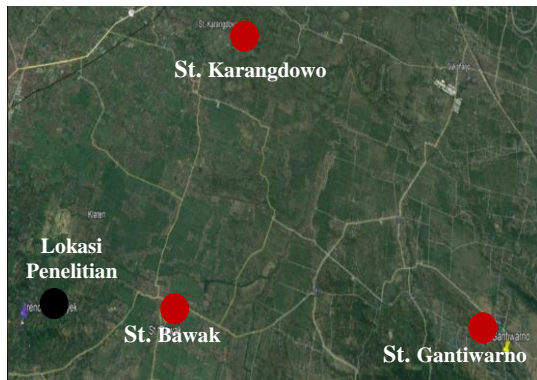
Infiltrasi tanah dasar yang digunakan untuk perhitungan dan analisis pada penelitian ini yaitu didasarkan pada Tabel 3 dengan menyesuaikan tekstur dari jenis tanah pada area perencanaan. Besar infiltrasi tanah dasar untuk *fine textured soil* adalah 1-10 mm/jam sehingga diambil nilai rerata yaitu 5 mm/jam.

**Tabel 3. Laju infiltrasi berdasarkan jenis tanah**

Jenis Tanah	Total infiltrasi setelah 3 jam (mm)	Laju infiltrasi setelah 3 jam (mm/jam)
<i>Coarse textured soil</i>	150 – 300	50 – 100
<i>Medium textured soil</i>	30 – 100	10 – 50
<i>Fine textured soil</i>	30 – 70	1 – 10

### Analisa hidrologi

Dalam melakukan perencanaan sistem paving block lolos air perlu dilakukan analisa hidrologi meliputi perhitungan curah hujan rencana dan perhitungan intensitas hujan. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian selama enam belas tahun yaitu tahun 2001 sampai dengan 2016. Data curah hujan didapatkan dari tiga stasiun hujan terdekat dari area perencanaan yaitu Sta Bawak, Sta Gantiwarno, dan Sta Karangdowo seperti terlihat pada Gambar 3.

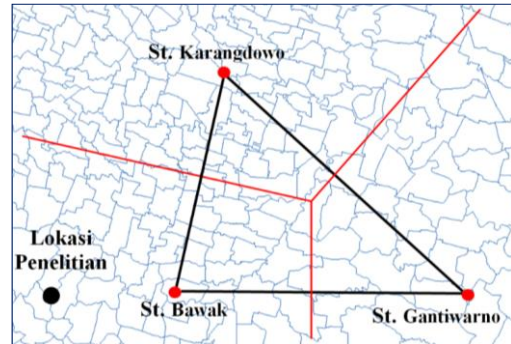


**Gambar 3. Lokasi sta hujan di area penelitian**

Untuk mendapatkan curah hujan wilayah pada area perencanaan digunakan metode poligon Thiessen. Metode poligon Thiessen ini digunakan untuk mengetahui besar pengaruh stasiun hujan terhadap curah hujan wilayah area perencanaan seperti terlihat pada Gambar 4.

Dari analisa pengaruh stasiun hujan menggunakan metode poligon Thiessen menunjukkan bahwa curah hujan pada area penelitian yaitu Desa Jotangan dan Krikilan hanya dipengaruhi oleh Sta Bawak. Luas pengaruh masing-masing stasiun

hujan dan koefisien poligon Thiessen dapat dilihat pada Tabel 4.



**Gambar 4. Luas pengaruh sta hujan menggunakan metode Poligon Thiessen**

**Tabel 4. Luas dan koefisien pengaruh berdasarkan poligon Thiessen**

Stasiun hujan	Luas pengaruh (m <sup>2</sup> )	Koefisien pengaruh
Sta Bawak	13137	1,00
Sta Karangdowo	0	0,00
Sta Gantiwarno	0	0,00

Oleh karena itu, dalam perencanaan sistem paving block lolos air ini digunakan curah hujan rencana kala ulang 10 tahun dari Sta Bawak. Data hujan yang ada kemudian dicari besar curah hujan harian maksimum setiap tahunnya seperti terlihat pada Tabel 5. Analisa frekuensi curah hujan kemudian dilakukan dengan menggunakan empat metode distribusi, yaitu Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson III. Curah hujan rencana yang didapatkan kemudian digunakan untuk merencanakan tebal *bedding layer* dan *open graded base* (OGB).

**Tabel 5. Curah hujan harian maksimum Sta Bawak Tahun 2001-2016**

Tahun	Hujan harian maksimum (mm)
2001	83
2002	84
2003	86
2004	69
2005	75
2006	97
2007	75
2008	101
2009	72
2010	117
2011	124
2012	78
2013	74
2014	122
2015	89
2016	231

Tabel 6. Spesikasi material permeable paving block (Ulfiana et al., 2021)

Material	Tipe Material	Diameter (mm)	Specific Gravity (kg/dm <sup>3</sup> )
Semen	Semen Gresik	-	1.260
Agregat halus	Pasir muntlan	<4.75	1.417
Agregat kasar	Batu pecah	9.5 - 12.5	1.373

### Sistem paving block lolos air

Sistem paving block lolos air terdiri dari perencanaan tiga lapisan utama, yaitu *permeable paving block*, *bedding layer* dan *open graded base* (OGB). Pada penelitian digunakan desain *permeable paving block* yang telah diteliti Ulfiana et al. (2021). *Permeable paving block* yang digunakan memiliki spesifikasi yaitu *mix design* dengan perbandingan 1 semen: 1,5 agregat halus: 2,5 agregat kasar. Spesifikasi bahan material yang digunakan bisa dilihat pada Tabel 6.

*Permeable paving block* memiliki kemampuan untuk meresapkan air sebesar 63 cm/jam atau setara dengan hujan yang memiliki intensitas 630 mm/jam. Kuat tekan optimum *paving block* ini adalah sebesar 21,29 Mpa dan termasuk dalam kategori kualitas B yang dapat digunakan untuk lahan parkir.

Pada penelitian ini digunakan perencanaan material *bedding layer* dan *open graded base* yang telah diteliti oleh Suripin et al. (2021). Material yang digunakan untuk *bedding layer* adalah berupa batu pecah dengan diameter kurang dari 4,75 mm dan memiliki porositas 49%. Sedangkan material yang digunakan untuk *open graded base* adalah batu pecah yang memiliki diameter antara 4,75 mm dan 12,5 mm dengan porositas sebesar 50,2%. Oleh karena itu, maka digunakan nilai porositas 50% dan lapisan dengan perbandingan tebal 1:3 sebagai dasar perhitungan tebal struktur *bedding layer* dan *open graded base*.

Curah hujan rencana dan besar limpasan yang telah didapatkan dari analisis sebelumnya, selanjutnya digunakan untuk menghitung ketebalan *bedding layer* dan *open graded base* (OGB) yang digunakan dalam penentuan desain lapisan struktur perkerasan. Perhitungan ketebalan *bedding layer* dan *open graded base* (OGB) menggunakan persamaan neraca air yang telah diusulkan oleh Smith (2006).

Dalam perencanaan sistem paving block lolos air ini terdapat dua tipe sistem yang dapat diterapkan yaitu *full exfiltration* dan *partial exfiltration*. Sistem *full exfiltration* memungkinkan seluruh debit limpasan air berinfiltrasi ke dalam *subbase* dan bereksfiltrasi ke dalam tanah. Sedangkan sistem *partial exfiltration* merupakan sistem yang tidak bergantung sepenuhnya pada eksfiltrasi air ke

dalam tanah, namun mengizinkan ada sebagian debit limpasan air yang dibuang ke saluran drainase melalui pipa drain.

Ketebalan *bedding layer* dan *open graded base* pada sistem *full exfiltration* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2 dan 3 yang telah dikembangkan oleh Smith (2006) sebagai berikut:

$$d_p = \frac{\Delta Q_c R + P - fT}{V_r} \quad (2)$$

Sedangkan untuk menghitung ketebalan *bedding layer* dan *open graded base* pada sistem *partial exfiltration* dapat menggunakan persamaan berikut:

$$d_p = \frac{\Delta Q_c R + P - fT - Q_o T}{V_r} \quad (3)$$

dimana  $d_p$  adalah ketebalan *open graded base* (OGB) dan *bedding layer*, mm;  $V_r$  adalah porositas *open graded base* (OGB) dan *subbase*;  $\Delta Q_c$  adalah penambahan debit dari daerah tangkapan air, mm;  $P$  adalah curah hujan, mm;  $f$  adalah infiltrasi tanah dasar, mm/jam;  $T$ : durasi hujan, jam;  $Q_o$  adalah kapasitas pipa drain, mm/jam; dan  $R$  adalah rasio antara luas area eksternal dengan luas area perkerasan.

Besar nilai  $R$  atau rasio antara luas area eksternal dengan luas area perkerasan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.

$$R = \frac{A_c}{A_p} \quad (4)$$

dimana:  $A_c$  adalah luas area eksternal, m<sup>2</sup>;  $A_p$  adalah luas area perkerasan, m<sup>2</sup>.

Dalam perencanaan sistem *full exfiltration* ada persyaratan ketebalan *open graded base* (OGB) maksimum yang diizinkan yang dapat ditentukan dengan Persamaan 5:

$$d_{maks} = f \times \frac{T_s}{V_r} \quad (5)$$

dimana:  $T_s$  adalah waktu penyimpanan maksimum yang diizinkan, 24 - 72 jam. Perhitungan lama terjadinya eksfiltrasi dapat dihitung menggunakan Persamaan 6.

$$Lama \text{ eksfiltrasi} = \frac{\text{Ketebalan OGB} \times \text{Porositas OGB}}{\text{Infiltrasi tanah dasar}} \quad (6)$$

Jika ketebalan OGB melebihi ketebalan maksimum yang diizinkan maka digunakan sistem *partial exfiltration*.



Tabel 7. Pemilihan jenis distribusi berdasarkan curah hujan harian

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil hitung	Keterangan
Normal	$Cs \approx 0$	2,769	Tidak
	$Ck = 3$	11,879	memenuhi
Gumbel	$Cs \leq 1.1396$	2,769	Tidak
	$Ck \leq 5.4002$	11,879	memenuhi
Log Normal	$Cs \approx 3Cv + Cv^2 = 3$	0,200	Tidak
	$Ck = 5.383$	7,5040	memenuhi
Log Pearson III	$Cs \neq 0$	1,8587	memenuhi

## Hasil dan Pembahasan

### Analisa hidrologi

Analisa hidrologi menggunakan data hujan harian Sta Bawak selama 16 tahun dari tahun 2001 sampai dengan 2016. Hasil analisa frekuensi curah hujan menunjukkan bahwa data hujan yang ada memenuhi persyaratan Distribusi Log Pearson III seperti terlihat pada Tabel 7. Sehingga didapatkan besar curah hujan rencana untuk berbagai kala ulang seperti terlihat pada Tabel 8. Pada penelitian ini, digunakan curah hujan kala ulang 10 tahun sebagai dasar perencanaan yaitu sebesar 139,88mm.

### Analisa debit limpasan

Berdasarkan hasil analisa hidrologi dan lokasi penelitian, didapatkan hasil curah hujan rencana kala ulang 10 tahun adalah sebesar 139,88 mm dengan nilai CN untuk lokasi area eksternal sebesar 87. Kedua data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung besar limpasan air area eksternal dengan menggunakan grafik analisa debit limpasan air menggunakan metode NRSC (Smith, 2006) seperti terlihat pada Gambar 5. Besar limpasan air eksternal adalah sebesar 102,80 mm.

Tabel 8. Curah Hujan Harian Rencana (Distribusi Log Pearson III)

Periode ulang (Tahun)	Curah hujan harian rencana (mm)
2	85,63
5	113,57
10	139,88
20	183,55
50	210,98
100	275,78

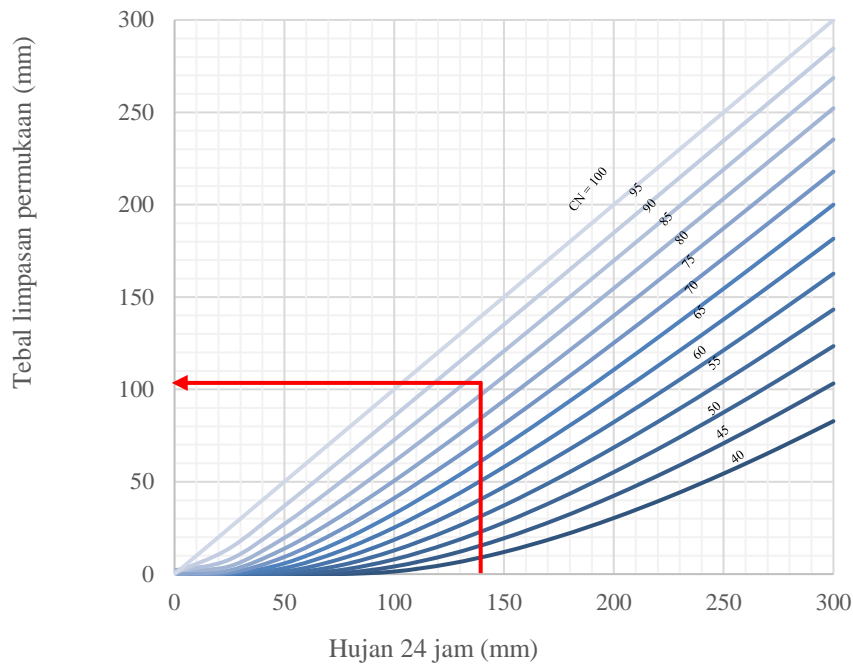
### Sistem paving block lolos air

Perencanaan sistem paving block lolos air ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu perhitungan tebal *bedding layer* dan *open graded base (OGB)*, perhitungan tebal maksimum lapisan *bedding layer* dan OGB, perhitungan lama eksfiltrasi dan perhitungan debit yang dapat diresapkan dengan struktur sistem paving block lolos air yang telah

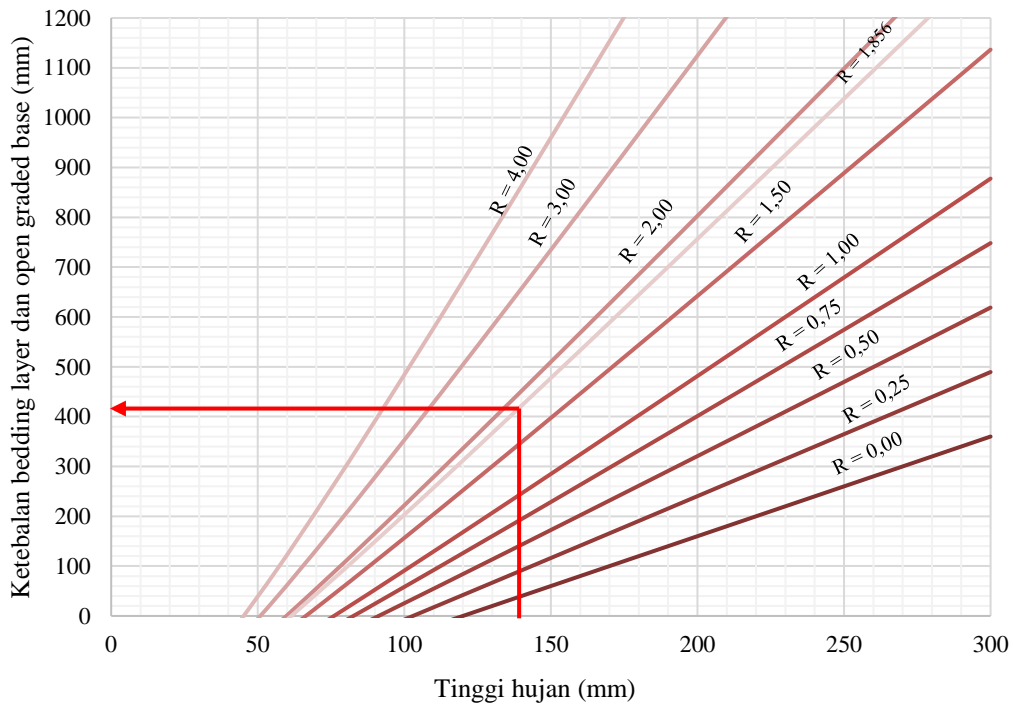
direncanakan. Beberapa data seperti besar curah hujan, besar limpasan air eksternal, infiltrasi tanah dasar, porositas *bedding layer* dan OGB, durasi hujan, dan rasio antara luas area eksternal dan perkerasan dibutuhkan dalam menentukan tebal *bedding layer* dan *open graded base (OGB)*.

Berdasarkan analisa hidrologi dan analisa lokasi penelitian didapatkan bahwa tinggi curah hujan rencana yang digunakan adalah 139,88 mm, besar limpasan air eksternal adalah 102,80 mm, infiltrasi tanah dasar sebesar 5 mm/jam, porositas *bedding layer* dan OGB adalah 50%. Durasi hujan yang digunakan adalah 24 jam. Kemudian dari hasil analisa didapatkan luas area perkerasan adalah 4600 m<sup>2</sup> sedangkan area limpasan adalah sebesar 8537 m<sup>2</sup>. Sehingga hasil perhitungan rasio antara luas area eksternal dan perkerasan menggunakan Persamaan 4 adalah sebesar 1,856. Data yang sudah didapatkan tersebut kemudian digunakan untuk merencanakan ketebalan *bedding layer* dan *open graded base (OGB)*. Perhitungan dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara curah hujan harian rencana dengan ketebalan *bedding layer* dan OGB seperti terlihat pada Gambar 6. Ketebalan yang dibutuhkan untuk menyimpan air dengan curah hujan setinggi 139,88 mm adalah sebesar 421,31 mm.

Setelah didapatkan ketebalan *bedding layer* dan OGB, maka perlu dilakukan pengecekan terhadap ketebalan maksimum *bedding layer* dan OGB yang diizinkan dan lama eksfiltrasi yang terjadi. Ketebalan maksimum *bedding layer* dan OGB yang diizinkan dihitung dengan Persamaan (5), dan didapatkan hasil sebesar 240 mm. Ketebalan *bedding layer* dan OGB untuk curah hujan rencana masih lebih besar daripada ketebalan maksimum yang diizinkan. Lama eksfiltrasi dapat dihitung menggunakan Persamaan 6 dan didapatkan hasil sebesar 42,131 jam. Hal ini menunjukkan bahwa dengan ketebalan *bedding layer* dan OGB sebesar 421,31 mm, limpasan permukaan yang terjadi dapat diserap oleh sistem paving block lolos air dalam waktu 42,131 jam. Syarat maksimal lama eksfiltrasi yang diperbolehkan adalah 24 jam, sehingga jika terjadi hujan pada hari berikutnya tidak mengalami penumpukan genangan air.



**Gambar 5. Grafik analisa debit limpasan air area eksternal dengan metode NRCS(Smith, 2006)**



**Gambar 6. Grafik hubungan antara curah hujan harian rencana dan ketebalan bedding layer dan open graded base (OGB)**

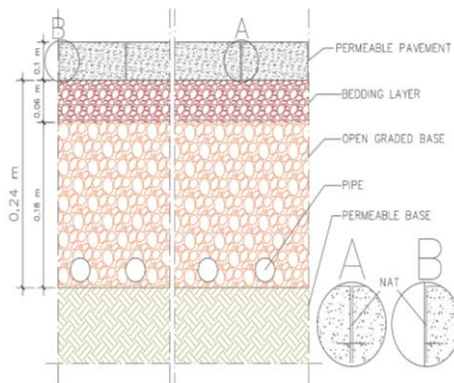
Berdasarkan hasil pengecekan terhadap ketebalan maksimum dan lama eksfiltrasi, maka desain sistem *permeable paving block* di kawasan percontohan Desa Jotangan dan Krikilan ini direncanakan menggunakan sistem *partial exfiltration*. Desain

sistem *partial exfiltration* menggunakan penambahan pipa drain untuk membuang kelebihan air yang tidak terserap dan menggunakan ketebalan *bedding layer* dan *open graded base* yang maksimum yaitu 240 mm. Besar kapasitas pipa

drain yang dibutuhkan dihitung menggunakan Persamaan 3 dan didapatkan hasil sebesar 3,78 mm/jam. Besar limpasan yang dibuang oleh pipa drain adalah sebesar 90,66 mm. Sedangkan besar limpasan yang dapat diresapkan adalah sebesar 152,02 mm. Dapat disimpulkan bahwa pemasangan sistem paving block lolos air di area penelitian ini dapat mengurangi besar limpasan sebesar 62,64%.



Gambar 7. Rencana area pemasangan permeable paving block system



Gambar 8. Detail struktur perkerasan pot A-A

Hasil desain struktur lapisan sistem paving block lolos air untuk kawasan percontohan WSUD di Desa Jotangan dan Krikilan ini dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8. Lapisan *bedding layer* dan OGB direncanakan dengan perbandingan tebal lapisan 1:3, sehingga didapatkan tebal untuk *bedding layer* adalah sebesar 6 cm dan tebal untuk open graded base adalah sebesar 18 cm. Tebal *permeable paving block* yang digunakan 10 cm, sehingga tebal keseluruhan sistem paving block lolos air ini adalah 34 cm. Pipa drain dipasang pada lapisan bawah OGB untuk mengalirkan kelebihan limpasan air yang tidak dapat meresap ke dalam tanah,

## Kesimpulan

Kawasan percontohan WSUD di Desa Jotangan dan Krikilan merupakan kawasan rural area yang

memiliki tingkat permeabilitas rendah. Tanah dasar kawasan ini adalah berupa *silty clay* dengan besar nilai infiltrasi tanah sebesar 5 mm/jam. Nilai CN kawasan ini adalah sebesar 87 yang didasarkan pada jenis tanah dan tutupan lahan yang berupa pemukiman. Luas lahan parkir yang akan dipasang sistem paving block lolos air ini adalah seluas 4600 m<sup>2</sup> dengan luas limpasan eksternal seluas 8537 m<sup>2</sup>. Sistem paving block lolos air yang digunakan adalah sistem partial exfiltration.

Desain struktur lapisan sistem paving block lolos air ini adalah setebal 34 cm yaitu dengan lapisan pertama berupa permeable paving block setebal 10 cm hasil pengembangan Ulfiana *et al.* (2021) yang memiliki kemampuan permeabilitas sebesar 63 cm/jam dan kuat tekan optimum sebesar 21,29 Mpa. Lapisan kedua adalah *bedding layer* setebal 6 cm dengan material berupa batu pecah dengan diameter kurang dari 4,75 mm dan porositas 49%. Lapisan ketiga adalah open graded base setebal 18 cm dengan material berupa batu pecah yang memiliki diameter antara 4,75 mm dan 12,5 mm dengan porositas sebesar 50,2%. Pipa drain dengan kapasitas 3,78 mm/jam dipasang di bagian bawah *open graded base*. Sistem paving block lolos air di kawasan percontohan WSUD di Desa Jotangan dan Krikilan, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten ini dapat menurunkan limpasan air hujan sebesar 62,64%. Peningkatan resapan ini dapat membantu meningkatkan cadangan air tanah dan juga mengurangi risiko banjir di kawasan ini dan mendukung konsep desain Water Sensitive Urban Design di Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Diponegoro (LPPM-Undip) atas pemberian dana hibah melalui skema Riset Pengembangan dan Penerapan (RPP) Tahun 2022. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Klaten, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Klaten, dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Staklim Semarang atas kerja sama dan dukungannya.

## Daftar Pustaka

- Adidarma, W. K. (2013). Data Terbatas Khususnya Di Indonesia Technique To Determine Inflow Design Flood for Dams With Limited Data. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 105–116.
- Ahammed, F. (2017). A review of water-sensitive urban design technologies and practices for



- sustainable stormwater management. *Sustainable Water Resources Management*, 3(3), 269–282. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0093-8>
- Antunes, L. N., Ghisi, E., & Thives, L. P. (2018). Permeable pavements life cycle assessment: A literature review. *Water (Switzerland)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/w10111575>
- Beecham, S., Pezzaniti, D., & Kandasamy, J. (2012). Stormwater treatment using permeable pavements. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 165(3), 161–170. <https://doi.org/10.1680/wama.2012.165.3.161>
- BPBD Jawa Tengah. (2015). *Kajian Risiko Bencana Jawa Tengah 2016-2020*.
- Dannowski, R. (2004). Handbook of Water Sensitive Planning and Design. *Journal of Environmental Quality*, 33(1), 409–410. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.4090>
- Windarto, Y. E., Bashit, N., Sari Ristianti, N., Ulfiana, D., & Trisnawati, D. (2020). Decision Support System for Determining Critical Land in Klaten Regency. *E3S Web of Conferences*, 202, 06003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020206003>
- Kazemi, F., & Hill, K. (2015). Effect of permeable pavement basecourse aggregates on stormwater quality for irrigation reuse. *Ecological Engineering*, 77, 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.020>
- Kazemi, F., Golzarian, M. R., & Myers, B. (2018). Potential of combined Water Sensitive Urban Design systems for salinity treatment in urban environments. *Journal of Environmental Management*, 209, 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.046>
- Lokita, A. D. (2011). Adaptasi Konsep Water Sensitive Urban Design (WSUD) Di Kawasan Cagar Budaya Kota Lama Semarang. *Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 22(1), 65–80.
- Radcliffe, J. C. (2019). History of Water Sensitive Urban Design/Low Impact Development Adoption in Australia and Internationally. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design* (pp. 1–24). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00001-0>
- Ramadan, A. N. A., Adidarma, W. K., Riyanto, B. A., & Windianita, K. (2018). Penentuan hidrologic soil group untuk perhitungan debit banjir Di Daerah Aliran Sungai Brantas Hulu. *JURNAL SUMBER DAYA AIR*, 13(2), 69. <https://doi.org/10.31028/jksda.v13.i2.69-82>
- Shadeed, S., & Almasri, M. (2010). Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments, Palestine. *Water Science and Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2010.01.001>
- Sharma, A., Pezzaniti, D., Myers, B., Cook, S., Tjandraatmadja, G., Chacko, P., Chavoshi, S., Kemp, D., Leonard, R., Koth, B., & Walton, A. (2016). Water Sensitive Urban Design: An Investigation of Current Systems, Implementation Drivers, Community Perceptions and Potential to Supplement Urban Water Services. *Water*, 8(7), 272. <https://doi.org/10.3390/w8070272>
- Singh, A., Sampath, P. V., & Biligiri, K. P. (2020). A review of sustainable pervious concrete systems: Emphasis on clogging, material characterization, and environmental aspects. In *Construction and Building Materials* (Vol. 261). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120491>
- Smith, D. R. (2006). *Permeable Interlocking Concrete Pavements*.
- Suripin, Ulfiana, D., Budienny, H., Parmantoro, P., & Prastiwi, D. (2021). Minimize surface runoff from parking lots with permeable pavement systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 700(1), 012056. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/700/1/012056>
- Ulfiana, D., Windarto, Y. E., Bashit, N., & Ristianti, N. S. (2020). Analysis of Flood Vulnerability as a Support to Water Sensitive Urban Design Planning in Klaten Regency. *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, 26(2), 183–193. <https://doi.org/10.14710/mkts.v26i2.31929>
- Ulfiana, D., Suripin, Budienny, H., Parmantoro, P., & Wibowo, S. (2021). The development of a permeable pavement from concrete bricks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 700(1), 012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/700/1/012060>
- United States Department of Agriculture. (1986). *Urban Hydrology For Small Watersheds (TR-55 REV. )*.
- Zhu, H., Yu, M., Zhu, J., Lu, H., & Cao, R. (2019). Simulation study on effect of permeable pavement on reducing flood risk of urban runoff. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(4). <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2018.12.001>