

BAB IV HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

4.1 Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan informasi atau data tentang fenomena hidrologi. Data hidrologi sangat penting untuk inventarisasi potensi sumber air, pemanfaatan dan pengelolaan sumber air yang tepat, dan rehabilitasi sumber alam seperti air, tanah, dan hutan yang telah rusak. Parameter hidrologi seperti curah hujan, suhu, penguapan, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air, kecepatan aliran, dan konsentrasi sedimen akan selalu berubah menurut waktu. Oleh karena itu, nilai data hidrologi hanya dapat terjadi lagi pada waktu yang berbeda sesuai dengan fenomena yang terjadi pada saat pengukuran dilakukan.

Kumpulan data hidrologi dapat disusun dalam bentuk daftar atau tabel, yang sering disertai dengan gambar, yang biasanya disebut diagram atau grafik. Selain itu, jika diperlukan, kumpulan data dapat disajikan dalam bentuk peta tematik, seperti peta curah hujan dan peta tinggi muka air.

Dalam analisis hidrologi, metode *Thiessen* digunakan untuk menghitung rata-rata curah hujan suatu wilayah dari data beberapa stasiun pengamatan. Metode ini sangat berguna karena curah hujan tidak tersebar merata di berbagai wilayah dan metode yang menjelaskan distribusi curah hujan sangatlah penting. Metode *Thiessen* sering digunakan sebagai langkah awal dalam studi hidrologi, terutama untuk studi kecil dengan sampel kecil dan jumlah stasiun pemantauan yang sedikit. Jika diperlukan akurasi yang lebih tinggi, metode lain seperti interpolasi berbasis GIS atau model hidrologi fisik mungkin lebih disukai.

Modul Perkerasan Hijau dirancang untuk mengelola air hujan di lingkungan perumahan perkotaan dengan meningkatkan infiltrasi dan mengurangi infiltrasi permukaan. Oleh karena itu, analisis curah hujan rata-rata penting untuk mengetahui efektivitas modul ini dalam menghadapi kondisi curah hujan yang berbeda-beda di wilayah studi.



Gambar 4. 1 Letak Stasiun Hujan dengan DAS Ciliwung
Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2024

Berdasarkan hasil interpolasi terhadap curah hujan untuk mengisi data kosong pada curah hujan dapat digunakan secara valid dalam permodelan aliran dan perencanaan infrastruktur, diperlukan uji validitas terhadap data curah hujan yang telah diinterpolasi. Tujuan uji validasi adalah untuk menilai sejauh mana hasil interpolasi curah hujan yang dihasilkan metode *Thiessen* mencerminkan kondisi lapangan sebenarnya dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Validasi ini diperlukan untuk memastikan bahwa data curah hujan yang diinterpolasi tidak terlalu menyimpang dari nilai pengamatan sebenarnya sehingga dapat digunakan dalam perhitungan limpasan permukaan yang lebih akurat.

Setelah melakukan uji validasi, hasilnya akan menunjukkan seberapa baik interpolasi metode *Thiessen* memberikan estimasi yang akurat. Jika hasil pengujian menunjukkan kesalahan yang relatif kecil dan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara data asli dan data interpolasi, maka hasil interpolasi tersebut dapat dianggap valid dan dapat digunakan dalam analisis hidrologi lebih lanjut, seperti perhitungan limpasan permukaan untuk modul perkerasan hijau. Namun jika terjadi kesalahan besar atau

diperlukan perubahan yang signifikan, penyesuaian atau penyempurnaan metode interpolasi, misalnya penggunaan metode interpolasi lain yang lebih kompleks atau penambahan stasiun pengamatan untuk meningkatkan keakuratan perkiraan.

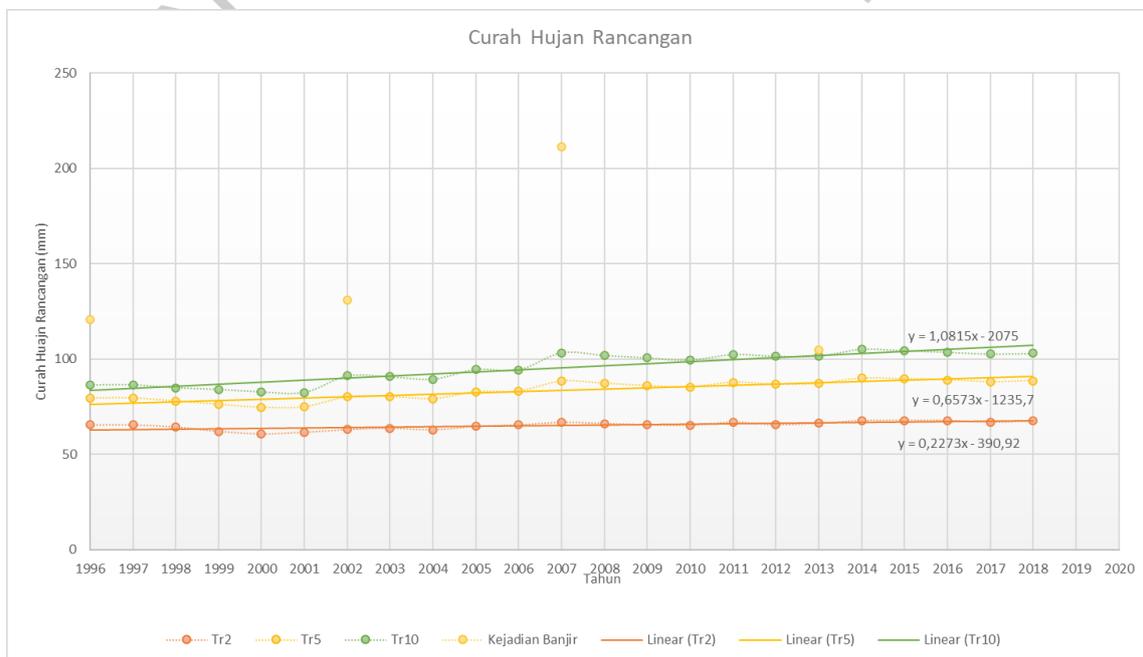
Dalam analisis hidrologi, data curah hujan yang diperoleh dari stasiun pengamatan sangat penting untuk perhitungan limpasan permukaan dan perencanaan infrastruktur. Namun, dalam konteks pengumpulan data presipitasi, sering kali terdapat nilai yang menyimpang jauh dari pola data yang diharapkan, disebut *outlier*. *Outlier* adalah data yang memiliki nilai yang berbeda secara signifikan dari sebagian besar data lainnya dan dapat memengaruhi hasil analisis secara signifikan.

Nilai *outlier* adalah nilai yang berbeda secara signifikan dari nilai lain dalam kumpulan data. Dalam konteks presipitasi, pinggiran kota sering terjadi karena sejumlah faktor, termasuk:

- a) Kesalahan pengukuran. Kesalahan teknis pada alat pengukur hujan, seperti sensor yang rusak atau pengukuran yang salah, dapat menghasilkan data yang jauh dari nilai sebenarnya.
- b) Kesalahan penyimpanan data. Kesalahan manusia saat menyimpan data, baik di mengetik angka atau memprogram sistem otomatis yang digunakan untuk mencatat data mungkin menghasilkan nilai yang tidak sesuai.
- c) Fenomena alam yang tidak biasa. Peristiwa curah hujan ekstrem, seperti curah hujan yang sangat deras atau bencana alam, seperti badai besar, dapat menghasilkan nilai curah hujan yang sangat tinggi dan menjadi lebih tidak biasa.
- d) Dampak lingkungan. Lokasi stasiun pengamatan yang tidak representatif atau adanya faktor lingkungan seperti pagar Vegetasi yang mengganggu pembacaan alat ukur dapat menghasilkan data yang jauh dari kondisi normal.

Penggunaan outlier pada data curah hujan diperlukan dalam situasi yang berkaitan dengan validitas data, ketepatan model hidrologi, dan perencanaan infrastruktur. Outlier dapat menunjukkan adanya kesalahan pengukuran, pengaruh cuaca ekstrem, atau faktor lain yang mengganggu kestabilan data, yang harus diatasi agar analisis lebih akurat dan berguna. Oleh karena itu, penanganan outlier yang tepat sangat penting dalam memastikan kualitas dan reliabilitas analisis hidrologi. Berdasarkan data curah hujan yang telah didapatkan disertai dengan pengisian data kosong yang telah dilakukan

menggunakan metode interpolasi. Didapatkan bahwa beberapa tahun terdapat outlier dikarenakan fenomena cuaca ekstrem (misalnya, topan, hujan lebat dalam waktu singkat). Meskipun peristiwa ini bukan kesalahan, mereka dapat mengganggu pola normal data curah hujan. Selain itu, deteksi *outlier* yang terkait dengan kejadian cuaca ekstrem penting untuk memahami potensi bencana alam seperti banjir. Dengan mengidentifikasi outlier, perencana dapat mempersiapkan dan merancang infrastruktur, seperti modul drainase atau perkerasan hijau, untuk menghadapi kemungkinan kejadian ekstrem di masa depan. Tahun yang memiliki outlier antara lain tahun 1996, 2002, 2007, dan 2013. Berikut merupakan grafik yang dapat menjadi penggambaran terhadap *outlier*.

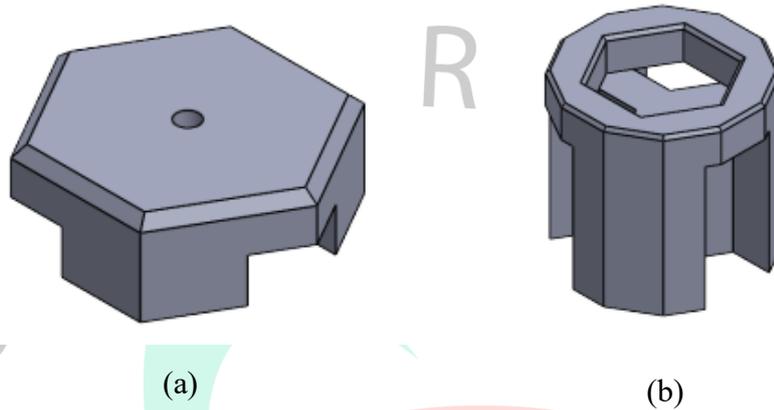


Gambar 4. 2 Grafik Curah Hujan beserta Outlier
 Sumber: Pengolahan Data Penulis, 2024

4.2 Desain Prototipe *Pavement*

Polyurethane (PU) adalah bahan polimer sintetis yang memiliki sifat mekanik dan fisik yang unggul, seperti elastisitas tinggi, ketahanan terhadap abrasi, dan daya tahan terhadap berbagai kondisi cuaca. Penggunaan *polyurethane* dalam desain *pavement* atau perkerasan jalan merupakan inovasi yang bertujuan untuk meningkatkan performa dan umur pemakaian struktur perkerasan. Selain itu, penggunaan *polyurethane* sebagai material utama dalam membuat prototipe atau benda uji pada *pavement* memudahkan dalam hal pengujian karena memiliki berat yang cukup ringan serta mudah menyesuaikan dengan wadahnya.

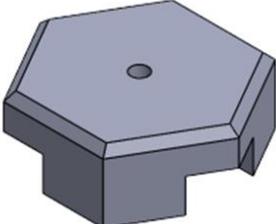
Pada penelitian ini *polyurethane* digunakan sebagai material utama dalam membuat benda uji dengan wadah yang sudah dibuat sebelumnya dengan dimensi menyesuaikan *platform* yaitu 1 m². Melalui prototipe ini dilakukan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas air dan kemampuan dalam mengalirkan air pada pavement dengan desain yang sudah disesuaikan dengan inovasi terbaru.

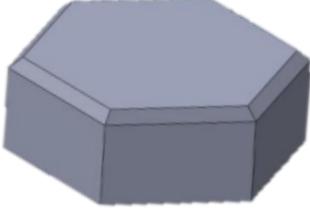
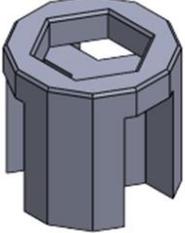
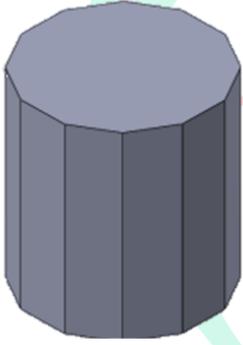


Gambar 4. 3 (a) Desain Atas Prototipe *Pavement* (b) Desain Badan Prototipe *Pavement*
 Sumber: Muhammad Raby Razan, 2024

Berdasarkan desain *pavement* yang digunakan, maka cetakan prototipe yang dirancang menyesuaikan dengan desain tersebut. Maka, didapatkan volume terisi ialah sebesar 817,63 cm³ pada bagian atas *pavement*, sedangkan pada badan *pavement* memiliki volumen sebesar 1.689,52 cm³. Sedangkan volume kosong *pavement* pada bagian atas sebesar 325,75 cm³ dan volume kosong *pavement* pada bagian badan sebesar 370,64 cm³. Dengan tinggi bagian atas *pavement* 5 cm dan tinggi badan *pavement* 30 cm.

Tabel 4. 1 Rincian Gambar Desain Prototipe *Pavement* beserta Volume

Desain Prototipe <i>Pavement</i>	Volume	Keterangan
	679,25 cm ³	Desain bagian atas <i>pavement</i> yang digunakan

Desain Prototipe Pavement	Volume	Keterangan
	1.005,00 cm ³	Desain bagian atas <i>pavement</i> secara keseluruhan
	3.349,06 cm ³	Desain bagian badan <i>pavement</i> yang digunakan
	3.719,10 cm ³	Desain bagian badan <i>pavement</i> secara keseluruhan

Sumber: Muhammad Raby Razan, 2024

4.3 Kalibrasi

Kalibrasi merupakan proses penting dalam penelitian untuk memastikan bahwa data, alat atau model yang digunakan menghasilkan hasil yang akurat dan relevan dibandingkan dengan kondisi dunia nyata. Dalam konteks penelitian ini, kalibrasi mencakup upaya perkiraan model aliran, peralatan pengukuran, dan parameter lingkungan yang digunakan dalam simulasi atau pengujian modul perkerasan hijau. Kalibrasi yang digunakan ialah kalibrasi terhadap model hidraulik serta kalibrasi perangkat pengukuran.

Pada kalibrasi terhadap model hidraulik Kalibrasi model hidrolis bertujuan untuk memastikan aliran air yang disimulasikan pada modul perkerasan hijau sesuai dengan kondisi lapangan sebenarnya, maka diperlukan langkah-langkah berikut:

- 1) Pengumpulan Data Lapangan

Mengukur data curah hujan, infiltrasi, dan limpasan (*runoff*) di kawasan urban menggunakan modul *green pavement*. Pada penelitian ini menggunakan data curah hujan berdasarkan rerata periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun, terhadap 23 tahun yang dilakukan di sungai ciliwung. Berikut merupakan data curah hujan selama 23 tahun.

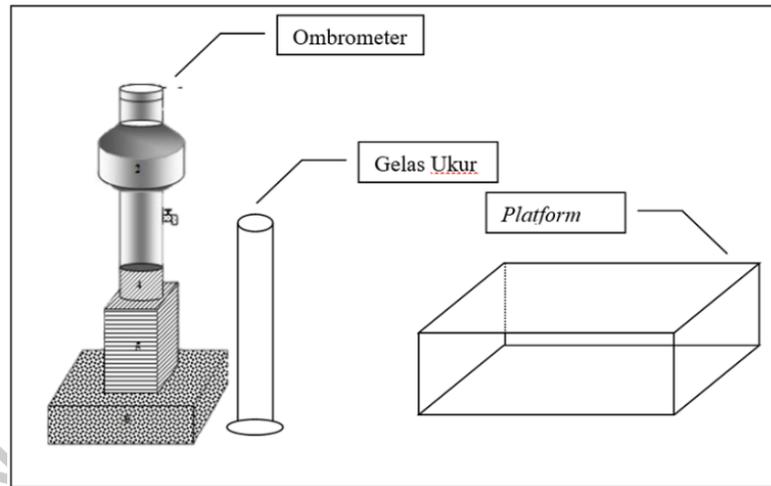
2) Penyesuaian Parameter Model

Parameter seperti permeabilitas, porositas, dan kapasitas infiltrasi modul disesuaikan agar hasil simulasi dapat mencerminkan data lapangan. Dalam penelitian ini, hal yang dimaksud ialah jika hasil simulasi menunjukkan laju infiltrasi yang terlalu tinggi atau rendah dibandingkan data lapangan, nilai permeabilitas pada model disesuaikan hingga hasil simulasi mendekati kenyataan. Begitupun pada porositas, Jika simulasi menunjukkan kapasitas penyimpanan air yang tidak sesuai (misalnya terlalu kecil dibandingkan hasil lapangan), nilai porositas dalam model diperbaiki. Ketiga poin ini sangat berkaitan dalam menentukan keefektivitasan modul *green pavement*. Dengan permeabilitas dapat mempengaruhi dari kecepatan air yang melewati modul (waktu), pada porositas dapat menentukan jumlah air yang dapat ditampung modul sebelum mencapai pada kejenuhan, serta pada kapasitas infiltrasi dapat menentukan seberapa cepat air yang tertampung dapat diserap tanpa mengurangi limpasan permukaan. Hal berikut akan dilakukan percobaan dengan 2 hal yang berbeda, pengujian dengan menggunakan modul *green pavement* serta pengujian tanpa menggunakan modul *green pavement* (hanya *platform*).

Selanjutnya, pada kalibrasi terhadap perangkat pengukuran penggunaan alat ukur dalam penelitian, seperti sensor hujan atau alat infiltrasi, harus dikalibrasi untuk menjamin keakuratan datanya. Dengan melakukan proses berikut:

1) Pengujian awal

Membandingkan alat dengan standar yang sudah terkalibrasi. Alat yang digunakan ialah menggunakan ombrometer dengan hasil yang dinyatakan dalam milimeter (mm). Penelitian ini menggunakan standar 200 mm maksimal dalam satu ombrometer dengan skema sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Skema Kalibrasi
 Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2024

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara luas permukaan ombrometer serta luas permukaan pada platform benda uji. Perbandingan ini juga diikutsertakan dengan volume pada ombrometer serta pada platform benda uji. Kemudian, perbandingan terhadap waktu yang dibutuhkan pada ombrometer dan platform benda uji. Sehingga didapatkan persamaan pada 4. 1.

$$\frac{V_{Ombrometer}}{A_{Ombrometer}T_{Ombrometer}} = \frac{V_{Platform\ Benda\ Uji}}{A_{Platform\ Benda\ Uji}T_{Benda\ Uji}} \quad 4.1$$

Keterangan:

- $V_{Ombrometer}$: Volume Ombrometer
- $A_{Ombrometer}$: Luas Permukaan Ombrometer
- $T_{Ombrometer}$: Waktu yang diperlukan Ombrometer dalam 24 jam
- $V_{Platform\ Benda\ Uji}$: Volume Platform Benda Uji
- $A_{Platform\ Benda\ Uji}$: Luas Permukaan Benda Uji
- $T_{Platform\ Benda\ Uji}$: Waktu yang diperlukan Platform Benda Uji dalam 1 jam

Pada kalibrasi ombrometer, biasanya mengukur kedalaman air hujan dalam milimeter (mm) berdasarkan volume air yang terkandung dalam platform pengujian. Untuk mengubah volume air (mL) menjadi kedalaman (mm), perlu memperhitungkan luas platform tabung reaksi yang menampung air hujan.

Dengan persamaan 4. 2 dapat digunakan untuk mengkonversikan dimensi yang digunakan pada penelitian ini.

$$\text{Kedalaman (mm)} = \frac{\text{Volume (mL)}}{\text{Luas Permukaan (m}^2\text{)}} \quad 4.2$$

Jika volume air yang tertampung adalah 1 mL dan luas tempat pengujian adalah 1 m², maka kedalaman air hujan yang tertampung di permukaan adalah 0.001 mm. Sehingga, didapatkan 1021,87 mm yang diperlukan dalam 1 jam hasil perbandingan dengan ombrometer. Nilai ini akan dibagi dengan rerata dari periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun untuk nantinya dapat dijadikan sebagai volume air yang dibutuhkan dalam 1 jam pada proses pengujian. Penyesuaian dan perbaikan adalah proses yang dilakukan pada alat ukur yang digunakan dalam penelitian jika ditemukan penyimpangan antara hasil pengukuran alat dengan nilai standar atau kondisi aktual di lapangan. Tujuannya adalah memastikan alat dapat memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan.

4.4 Analisis Model

4.4.1 Bentuk Modul *Green Pavement*

Desain modul *green pavement* dibuat dengan desain yang sangat baru. Hal ini dikarenakan dalam mendesain modul *green pavement* mempertimbangan tujuan serta fungsi dari *green pavement* tersebut. Berdasarkan desain bagian atas yang sudah didesain dengan bentuk dasar segi enam dan lubang kecil di bagian atas memiliki fungsi dalam hal stabilitas struktur yang dapat mengunci (*interlocking*) serta cocok pada bentuk modular *green pavement*. Selain itu, dalam hal drainase yang didapatkan dari bagian lubang kecil untuk membantu pengaliran air secara vertikal menuju lapisan infiltrasi dibawahnya.

Sedangkan pada desain badan pavement berbentuk silindris dengan variasi lubang di tengah berbentuk hexagonal untuk membantu mengunci bagian atas pavement. Pada bagian badan ini memiliki fungsi dalam struktur pendukung yang memungkinkan untuk memberikan kekuatan tambahan untuk menahan beban, seperti kendaraan ringan di kawasan urban dengan membagi bebannya.

Berdasarkan pendapat dari Prof. Dr. Frederik Josep Putuhena, melalui bentuk yang dibuat pada penelitian ini dapat dikatakan baik. Hal ini dikarenakan terdapat capping pavement yang digunakan sebagai pengunci pada pavement yang dapat

menjaga badan pavement agar stabil serta dapat mempermudah dalam proses maintenance.

Bentuk model tersebut berkaitan erat dengan tujuan penelitian dalam meningkatkan pengaliran air dan efisiensi modul green pavement.

- a) Efisiensi pengaliran Air, Lubang-lubang pada desain menyediakan jalur untuk mengarahkan air hujan ke lapisan infiltrasi di bawahnya, sehingga meminimalkan limpasan permukaan. Desain ini mendukung peningkatan kapasitas infiltrasi yang merupakan salah satu parameter utama penelitian ini.
- b) Kekuatan dan ketahanan Modul, Bentuk heksagonal di bagian atas dan kombinasi silinder pada badan modul pavement menunjukkan bahwa desain ini dirancang saling bertautan sehingga memberikan stabilitas struktural. Hal ini penting untuk memastikan bahwa modul-modul tersebut dapat menopang beban kendaraan atau pejalan kaki di perkotaan.
- c) Modularitas, Desain seperti ini mendukung pemasangan modular, sehingga memudahkan proses pemasangan dan pemeliharaan modul green pavement. Selain itu, bentuknya yang heksagonal memungkinkan pemanfaatan ruang secara efisien dan menunjang estetika di kawasan perkotaan.
- d) Performa Lingkungan, melalui desain dengan bentuk hexagonal dan silinder ini memungkinkan untuk mengurangi genangan, meningkatkan penyimpanan air sementara di dalam modul, serta mendukung pondasi air ke tanah untuk meningkatkan pasokan air.

4.4.2 Pengujian Terhadap Modul *Green Pavement*

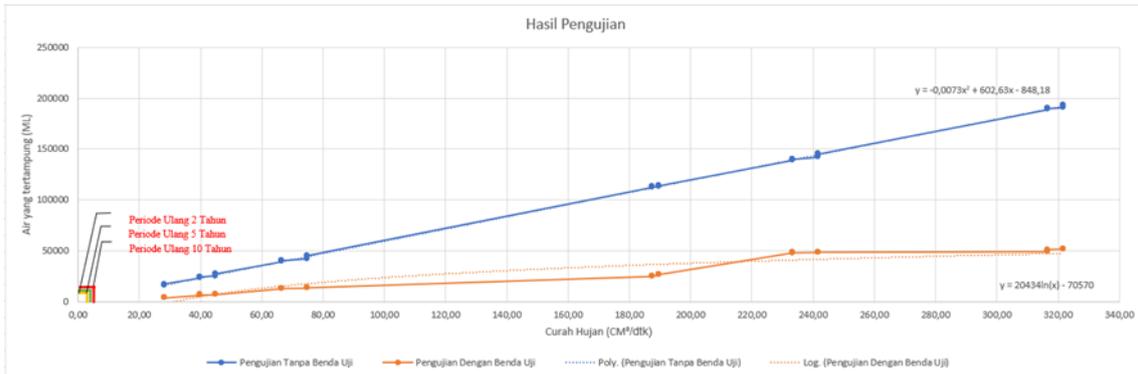
Pengujian terhadap modul *green pavement* dilakukan dengan parameter bukaan terhadap valve aliran air. Pengujian juga dilakukan dengan tiga kali percobaan serta pengujian menggunakan benda uji dan pengujian tanpa benda uji (*platform*).

Berdasarkan pengujian didapatkan hasil yang menggunakan faktor antara bukaan valve dengan air yang tertampung (ml). Berikut merupakan hasil pengujian yang sudah dilakukan:

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian

Bukaan Valve (%)	Pengujian Terhadap Benda Uji (ML)	Pengujian Tanpa Benda Uji (ML)
100%	51800	193000
	51700	192000
	51600	191000
85%	51000	190000
	50000	190000
	49000	189000
75%	48400	145000
	48300	143000
	48200	142000
65%	47900	140000
	47900	140000
	47800	139000
50%	26600	113800
	26400	113500
	26300	113300
45%	25000	112600
	24900	112600
	24800	112400
30%	13700	45000
	13500	43000
	13300	42000
25%	13000	40000
	12900	40000
	12800	39000
15%	7000	27000
	6800	26000
	6700	25000
10%	6600	24000
	6400	24000
	6300	23000
5%	3800	17000
	3600	16000
	3700	16000

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengujian
 Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan diperlukan uji validitas terhadap hasil pengujian tersebut dengan menggunakan standar deviasi. Berikut merupakan hasil pengujian validitas terhadap hasil pengujian.

Tabel 4. 3 Hasil Standar Deviasi untuk Uji Validitas Terhadap Hasil Pengujian

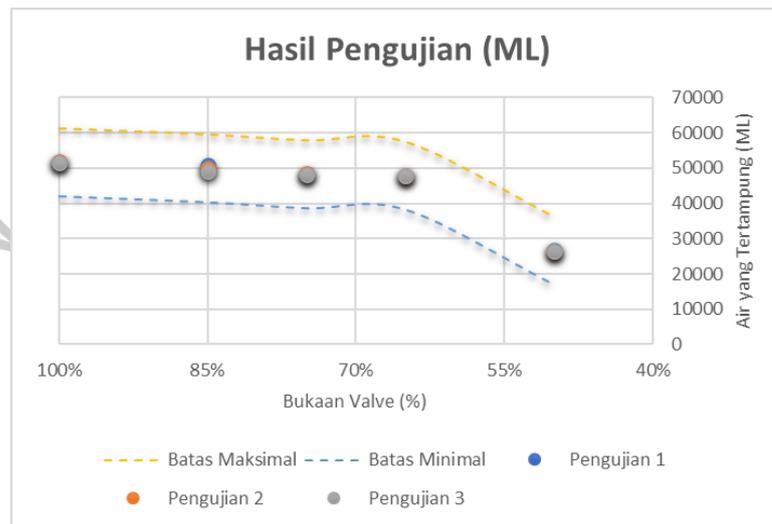
Bukaan Valve	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	RERATA	Maks	Min
100%	51800	51700	51600	51700	61347	42053
85%	51000	50000	49000	50000	59647	40353
75%	48400	48300	48200	48300	57947	38653
65%	47900	47900	47800	47867	57514	38219
50%	26600	26400	26300	26433	36081	16786
RERATA				44860		
Standar Deviasi				9647,19		

Bukaan Valve	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	RERATA	Maks	Min
45%	25000	24900	24800	24900	30757	19043
30%	13700	13500	13300	13500	19357	7643
25%	13000	12900	12800	12900	18757	7043
RERATA				17100		
Standar Deviasi				5857,05		

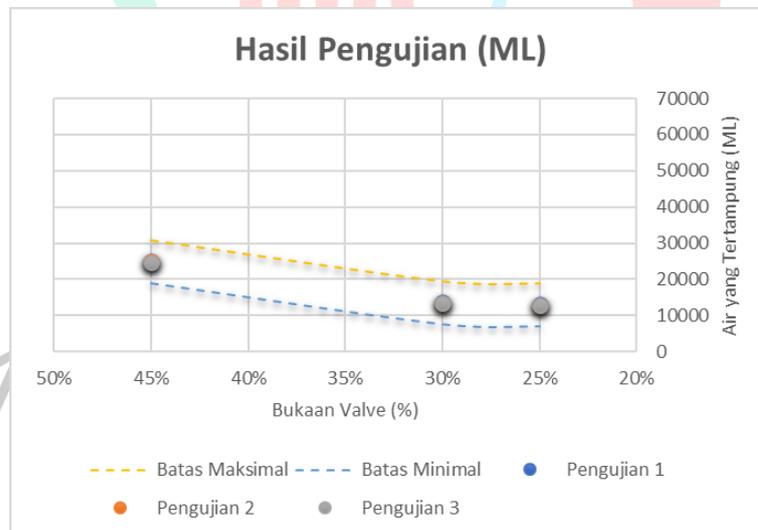
Bukaan Valve	Pengujian 1	Pengujian 2	RERATA	Maks	Min
15%	7000	6800	6700	8182	5218
10%	6600	6400	6300	7782	4818
5%	3800	3600	3700	5182	2218
RERATA			5656		
Standar Deviasi			1481,65		

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

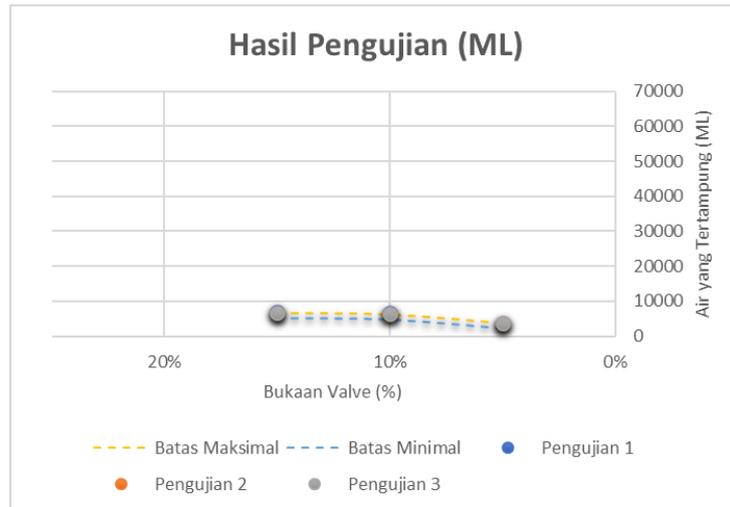
Uji validitas diperlukan untuk memastikan keakuratan, relevansi, dan keandalan hasil penelitian. Dengan melakukan uji validitas, penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang nyata dan dapat dipercaya dalam mengembangkan solusi untuk mengelola banjir genangan di kawasan urban. Berikut merupakan penggambaran grafik terkait dengan uji validasi



Gambar 4. 6 Hasil Uji Validasi terhadap bukaan valve 100% - 50%
 Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024



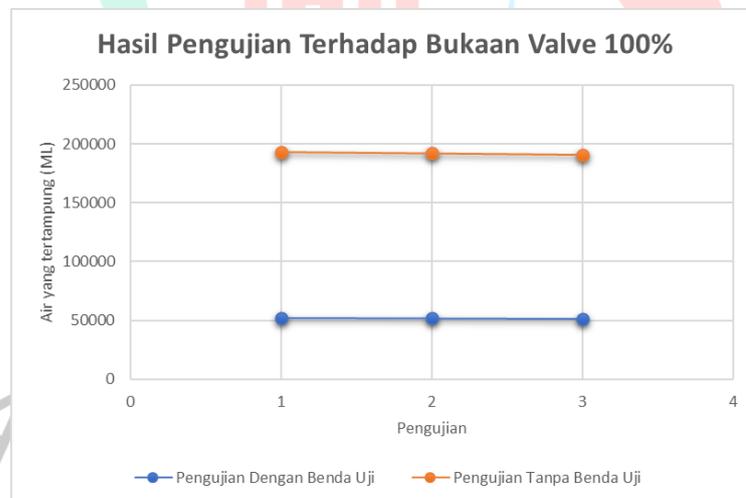
Gambar 4. 7 Hasil Uji Validasi terhadap bukaan valve 45% - 25%
 Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024



Gambar 4. 8 Hasil Uji Validasi terhadap bukaan valve 35% - 5%
 Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Setelah data sudah dilakukan uji validitas dan angka pengujian berada di bawah batas maksimal dan diatas batas maksimal. Dapat diinterpretasikan melalui grafik sebagai berikut.

A. Bukaan Valve 100%



Gambar 4. 9 Pengujian terhadap Bukaan Valve sebesar 100% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji
 Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dua kali terhadap Bukaan Valve sebesar 100% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a) Hubungan Waktu dan Banyaknya Air Tertampung

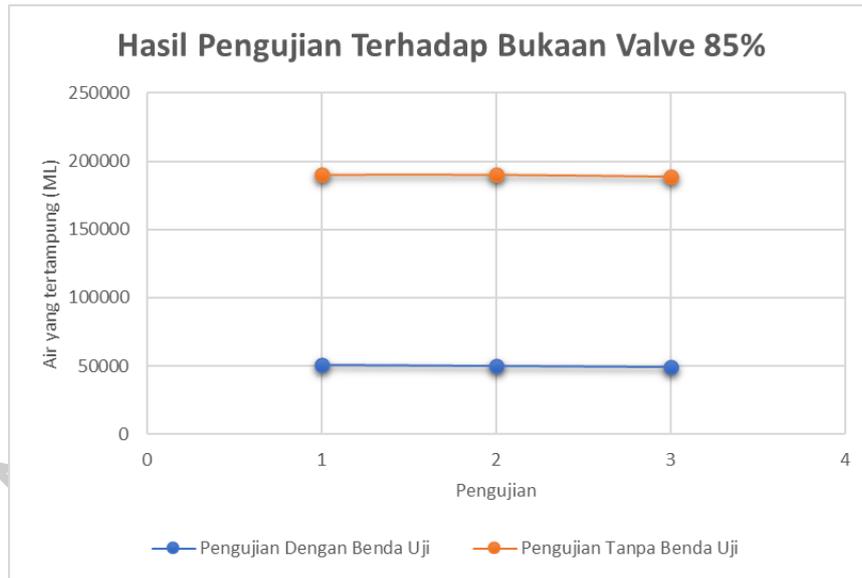
- Percobaan dengan Benda Uji (biru): Volume air tertampung tinggi, mengindikasikan bahwa kapasitas penyerapan modul mengalami sedikit pengurangan seiring waktu terhadap waktu penyerapannya.
- Percobaan Tanpa Benda Uji (oranye): Volume air tertampung lebih tinggi dibandingkan pengujian dengan benda uji, hal ini dipengaruhi oleh keluasan air yang jatuh ke dalam platform tanpa adanya penghalang.

b) Performa Modul

- Dampak Benda Uji: Keberadaan benda uji meningkatkan kapasitas air yang tertampung. Ini dapat disebabkan oleh peran benda uji yang mungkin memperlambat aliran air sehingga memungkinkan modul menyerap lebih banyak.
- Tanpa Benda Uji: Meskipun tanpa benda uji, modul tetap efektif dalam menampung air, dengan menampung air lebih banyak daripada pengujian dengan benda uji.

Sehingga, Keberadaan benda uji meningkatkan performa modul green pavement secara signifikan, baik dalam menampung air lebih banyak maupun memperlambat penurunan kapasitas. Penggunaan modul tanpa benda uji tetap menghasilkan performa yang baik. Untuk aplikasi praktis, modul dengan benda uji lebih disarankan untuk meningkatkan pengelolaan air, terutama pada lingkungan yang membutuhkan kapasitas retensi tinggi.

B. Bukaan Valve 85%



Gambar 4. 10 Pengujian terhadap Bukaan Valve sebesar 85% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan pengujian terhadap bukaan valve sebesar 85% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji terhadap banyaknya air yang tertampung dapat disimpulkan sebagai berikut:

a) Pola Penurunan Kapasitas Penampungan Air

- Dengan Benda Uji: Grafik menunjukkan kapasitas air tertampung lebih rendah dibandingkan dengan percobaan tanpa benda uji. Penurunan jumlah air yang tertampung terjadi secara lebih lama, menunjukkan bahwa modul lebih mampu menahan air karena pengaruh benda uji.
- Tanpa Benda Uji: Grafik menunjukkan jumlah air tertampung lebih tinggi dibandingkan percobaan dengan benda uji pada setiap tahap pengujian. Penurunan kapasitas air tertampung terjadi, dengan penurunan yang relatif lebih cepat dibandingkan percobaan dengan benda uji.

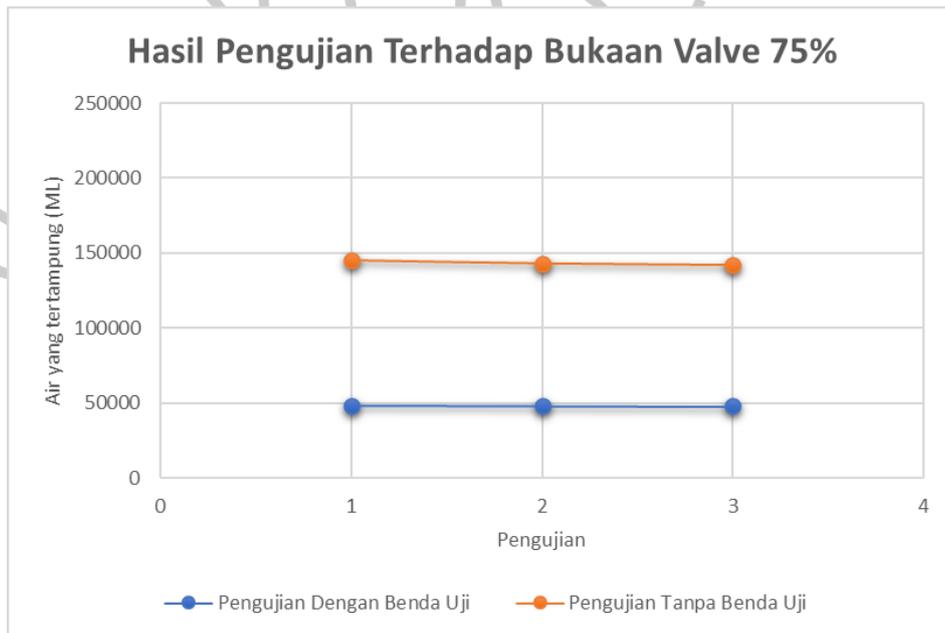
b) Pengaruh Kehadiran Benda Uji

- Kehadiran benda uji (seperti penghalang atau elemen fisik) berfungsi membantu modul mempertahankan kapasitas air lebih baik. Hal ini dapat terjadi karena benda uji mengurangi laju aliran air keluar dari modul, sehingga memungkinkan lebih banyak air yang tertahan dalam struktur material green pavement.

- Sebaliknya, tanpa benda uji, air cenderung langsung keluar dari modul, sehingga kapasitas retensi air lebih rendah dan menurun lebih cepat.

Sehingga, pengaruh benda uji kehadiran benda uji meningkatkan kapasitas air yang tertampung, menunjukkan bahwa elemen tambahan pada desain green pavement dapat membantu memperbaiki efisiensinya.

C. Bukaan Valve 75%



Gambar 4. 11 Pengujian terhadap Bukaan Valve sebesar 75% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan tiga kali dalam periode ulang 5 tahun dapat disimpulkan sebagai berikut:

a) Tren Penurunan Kapasitas Penampungan Air

- Percobaan dengan Benda Uji (Garis Biru): Jumlah air yang tertampung lebih rendah dibandingkan percobaan tanpa benda uji pada setiap pengujian. Penurunan ini mencerminkan bahwa kehadiran benda uji membantu modul mempertahankan efisiensi penyerapan air meskipun diuji berulang kali.
- Percobaan Tanpa Benda Uji (Garis Oranye): Jumlah air yang tertampung lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan dengan benda uji, dan menunjukkan tren kenaikan yang lebih signifikan. Hal ini

mengindikasikan bahwa tanpa benda uji, air cenderung lebih cepat mengalir keluar dari modul, mengurangi kapasitas penyerapan air.

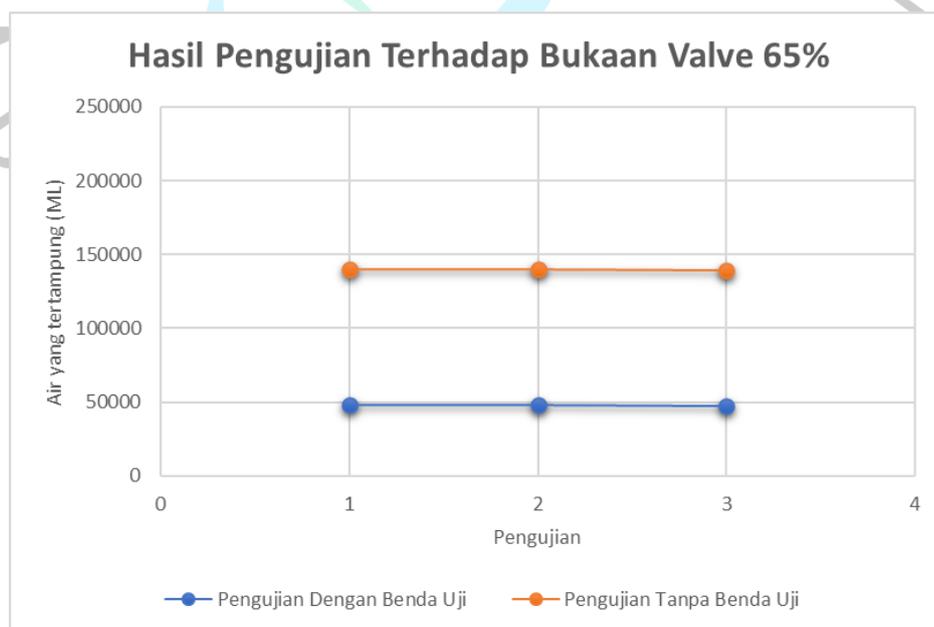
b) Pengaruh Kehadiran Benda Uji

- Kehadiran benda uji (garis biru) memberikan kontribusi positif dengan meningkatkan kapasitas air yang tertampung. Hal ini mungkin disebabkan oleh benda uji yang membantu memperlambat aliran air keluar dari modul, memungkinkan lebih banyak air yang tertahan.
- Tanpa benda uji, air cenderung langsung mengalir keluar dari modul tanpa hambatan, sehingga kapasitas tertampung lebih rendah dan menurun lebih tajam seiring pengujian.

Sehingga, kinerja awal material green pavement menunjukkan kapasitas awal yang cukup baik dalam menampung air, terutama pada percobaan dengan benda uji.

Pengaruh Waktu dan Pengujian Berulang: Penurunan kapasitas air tertampung setelah pengujian berulang menunjukkan bahwa material mengalami perubahan karakteristik (seperti kejenuhan atau deformasi). Peran benda uji, kehadiran benda uji meningkatkan kapasitas penyerapan air, menunjukkan bahwa desain tambahan dapat meningkatkan efisiensi modul *green pavement*.

D. Buka an Valve 65%



Gambar 4. 12 Pengujian terhadap Buka an Valve sebesar 65% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap bukaan valve 65% dapat disimpulkan sebagai berikut:

a) Pengaruh Benda Uji (Prototipe)

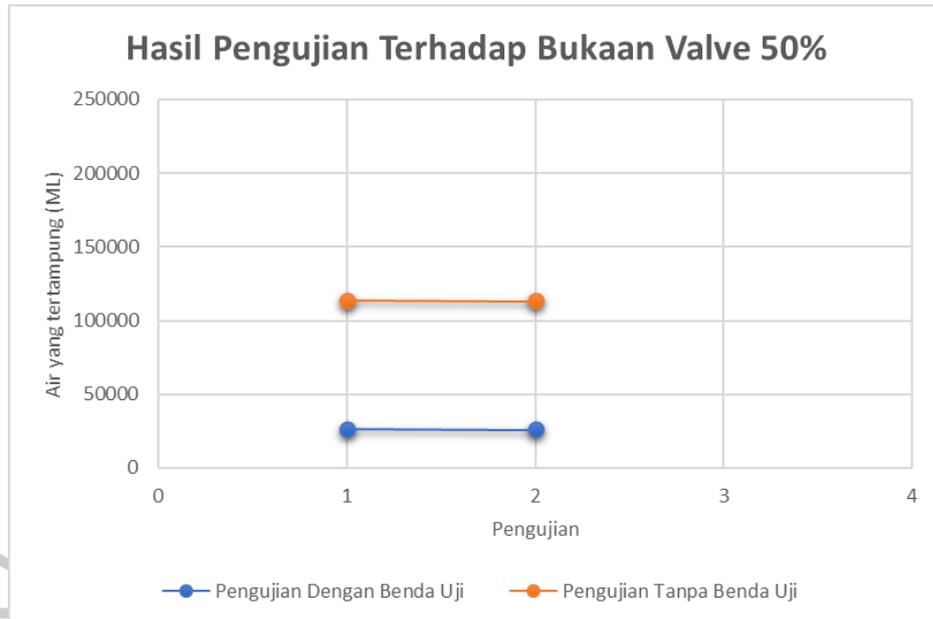
- Percobaan dengan Benda Uji (Garis Biru): Penggunaan benda uji atau prototipe tampaknya secara signifikan mengurangi jumlah air yang tertampung pada bukaan valve sebesar 65%. Penurunan kapasitas air yang tertampung relatif lebih lambat dibandingkan percobaan tanpa benda uji, menunjukkan bahwa benda uji membantu mempertahankan kapasitas retensi air dalam modul.
- Percobaan Tanpa Benda Uji (Garis Oranye): Kapasitas awal lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan dengan benda uji. Penurunan kapasitas air tertampung lebih signifikan pada pengujian tanpa benda uji, terutama setelah pengujian kedua, menunjukkan bahwa modul green pavement lebih cepat kehilangan kemampuan retensi air tanpa kehadiran benda uji.

b) Pengaruh Kehadiran Benda Uji

- Dengan Benda Uji: Kapasitas air tertampung lebih tinggi dalam semua pengujian dibandingkan tanpa benda uji. Hal ini menunjukkan bahwa benda uji berfungsi sebagai penghalang atau pendukung, yang memungkinkan air untuk tertahan lebih lama dalam material green pavement.
- Tanpa Benda Uji: Tanpa pengaruh benda uji, air cenderung langsung mengalir keluar dari modul, sehingga kapasitas air yang tertampung lebih rendah dan lebih cepat menurun.

Sehingga, pada bukaan valve sebesar 65%, penggunaan benda uji (prototipe) secara signifikan mengurangi jumlah air yang tertampung dibandingkan pengujian tanpa benda uji. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan prototipe memengaruhi kinerja sistem aliran air, kemungkinan dengan cara mengurangi efisiensi aliran atau menambah hambatan. Prototipe mungkin dirancang untuk mengendalikan atau membatasi aliran air, yang terlihat dari penurunan volume air tertampung menjadi sekitar sepertiga dari kondisi tanpa prototipe.

E. Bukaannya Valve 50%



Gambar 4. 13 Pengujian terhadap Bukaannya Valve sebesar 50% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada bukanya valve 50% dapat disimpulkan sebagai berikut:

a) Efek Kehadiran Benda Uji

- Air yang tertampung pada pengujian dengan benda uji menunjukkan bahwa air yang tertampung lebih rendah dibandingkan dengan pengujian tanpa benda uji.
- Ini menunjukkan bahwa benda uji memberikan efek positif pada kinerja modul dalam memperlambat aliran air.

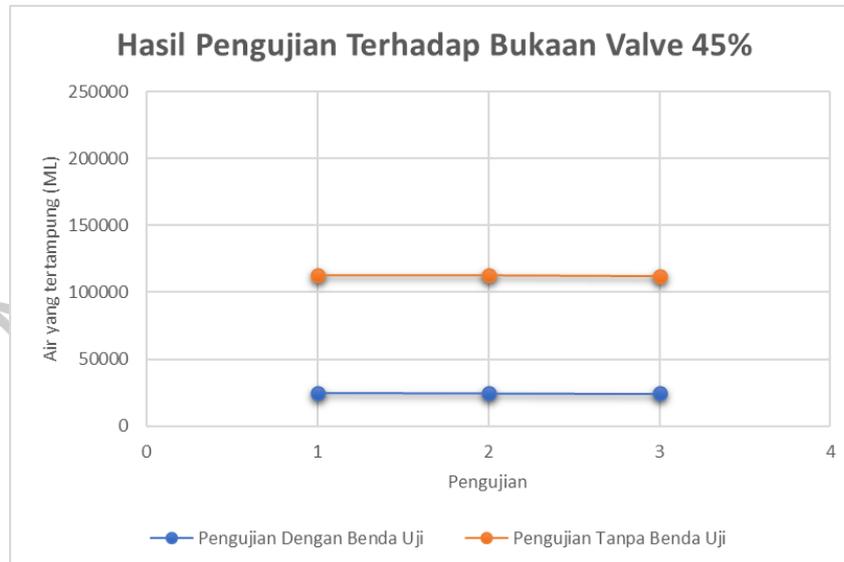
b) Implikasi Hasil Pengujian

- Sama seperti pada bukanya valve 65%, penggunaan prototipe memiliki efek nyata dalam membatasi volume air yang tertampung.
- Ini dapat mengindikasikan bahwa prototipe berhasil menjalankan fungsi pengendalian aliran air, khususnya pada bukanya valve 50%.

Pada bukanya valve sebesar 50%, penggunaan benda uji (prototipe) secara signifikan mengurangi volume air yang tertampung hingga setengahnya dibandingkan tanpa benda uji. Hal ini menunjukkan bahwa prototipe berhasil membatasi aliran air dengan menambah hambatan atau mengurangi efisiensi aliran. Efek pengurangan volume ini konsisten dengan pengujian pada tingkat bukanya valve

lainnya, sehingga prototipe dapat dinyatakan efektif dalam mengontrol aliran air sesuai tujuan.

F. Buka Valve 45%



Gambar 4. 14 Pengujian terhadap Buka Valve sebesar 45% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap buka valve 45% dapat disimpulkan sebagai berikut:

a) Penurunan Jumlah Air Tertampung

- Jumlah air yang tertampung menurun seiring bertambahnya pengulangan percobaan, baik pada modul dengan benda uji maupun tanpa benda uji.

b) Efek Kehadiran Benda Uji

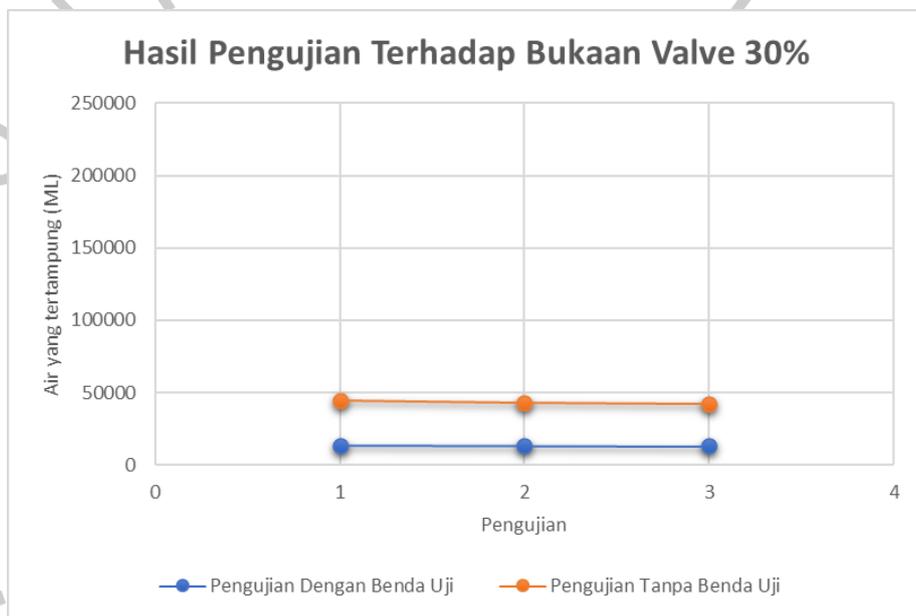
- Kehadiran benda uji memberikan efek positif dalam meningkatkan kemampuan modul menampung air.
- Hal ini terlihat dari perbedaan jumlah air yang tertampung pada modul dengan benda uji yang konsisten lebih besar dibandingkan tanpa benda uji di setiap percobaan.

c) Laju Penurunan

- Penurunan jumlah air yang tertampung pada modul tanpa benda uji lebih cepat dibandingkan modul dengan benda uji, mengindikasikan bahwa benda uji membantu mempertahankan performa modul dalam jangka waktu yang lebih lama.

Sehingga, pengaruh positif benda uji, kehadiran benda uji meningkatkan kapasitas modul green pavement untuk menampung air dan memperlambat laju penurunan efisiensi selama pengulangan percobaan. Penurunan efisiensi, jumlah air yang tertampung menurun pada kedua kondisi, menunjukkan bahwa kinerja modul mengalami degradasi setelah pengulangan percobaan. Keunggulan modul dengan benda uji, modul dengan benda uji menunjukkan performa lebih baik dalam menahan air dan mempertahankan kapasitas tampungan meskipun digunakan berulang kali.

G. Bukaan Valve 30%



Gambar 4. 15 Pengujian terhadap Bukaan Valve sebesar 30% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji
 Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

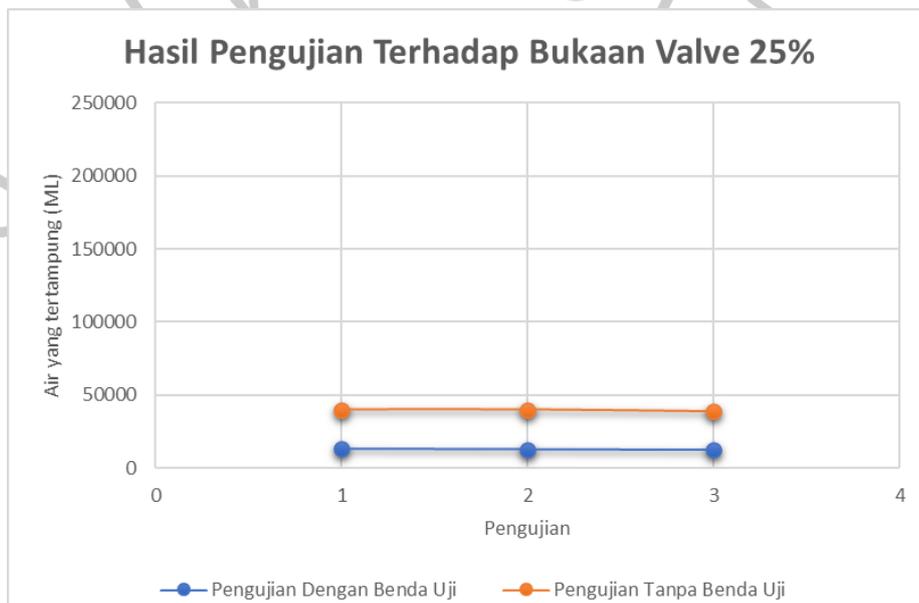
Berdasarkan pada hasil grafik pengujian dengan benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a) Pengaruh Benda Uji (Prototipe)
 - Penggunaan benda uji atau prototipe mengurangi volume air yang tertampung hingga setengahnya dibandingkan tanpa benda uji.
 - Hal ini mengindikasikan bahwa prototipe memberikan efek signifikan pada pengurangan aliran air.
- b) Implikasi Hasil Pengujian
 - Pada bukaan valve yang lebih kecil (30%), efek pengurangan volume air tetap konsisten dengan pengujian sebelumnya. Prototipe secara efektif

membatasi aliran air dengan menambah hambatan atau mengontrol aliran.

Sehingga, pada bukaan valve sebesar 30%, penggunaan benda uji (prototipe) terbukti efektif dalam membatasi aliran air dengan mengurangi volume air yang tertampung hingga setengahnya dibandingkan pengujian tanpa prototipe. Hal ini menunjukkan konsistensi fungsi prototipe dalam mengontrol aliran air pada berbagai tingkat bukaan valve.

H. Bukaan Valve 25%



Gambar 4. 16 Pengujian terhadap Bukaan Valve sebesar 25% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan pada hasil grafik pengujian dengan tanpa benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut:

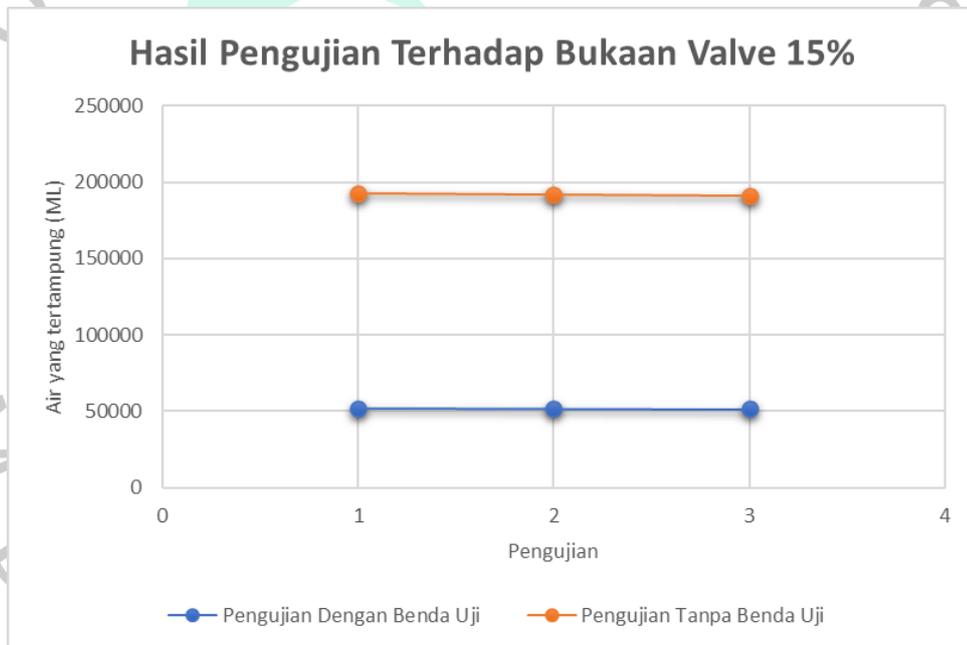
- a) Perbedaan Hasil Pengujian
 - Tidak terdapat perbedaan signifikan antara pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji. Kedua kondisi menghasilkan volume air tertampung yang sama.
- b) Efisiensi Platform Tanpa Benda Uji
 - Hasil menunjukkan bahwa platform green pavement mampu menyerap air secara efisien bahkan tanpa bantuan benda uji.
 - Performa platform meningkat seiring waktu.

c) Perbandingan dengan Benda Uji

- grafik ini menunjukkan hasil yang serupa dalam tren peningkatan kapasitas platform seiring waktu, namun peran benda uji tampaknya menambah efisiensi total.
- Tanpa benda uji, platform tetap berfungsi dengan baik, menjadikannya solusi fleksibel untuk aplikasi pengelolaan air hujan.

Sehingga, Pada bukaan valve 25%, sistem menunjukkan performa yang konsisten, baik dengan maupun tanpa benda uji. Hal ini mengindikasikan bahwa prototipe atau benda uji tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap aliran atau volume air tertampung pada pengaturan bukaan valve tersebut.

I. Bukaan Valve 15%



Gambar 4. 17 Pengujian terhadap Bukaan Valve sebesar 15% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan pada hasil grafik pengujian dengan tanpa benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut:

a) Efek Green Pavement

- Kehadiran modul green pavement (benda uji) menunjukkan bahwa kapasitas pengaliran air berkurang secara signifikan dibandingkan tanpa modul green pavement. Penurunan volume air yang tertampung

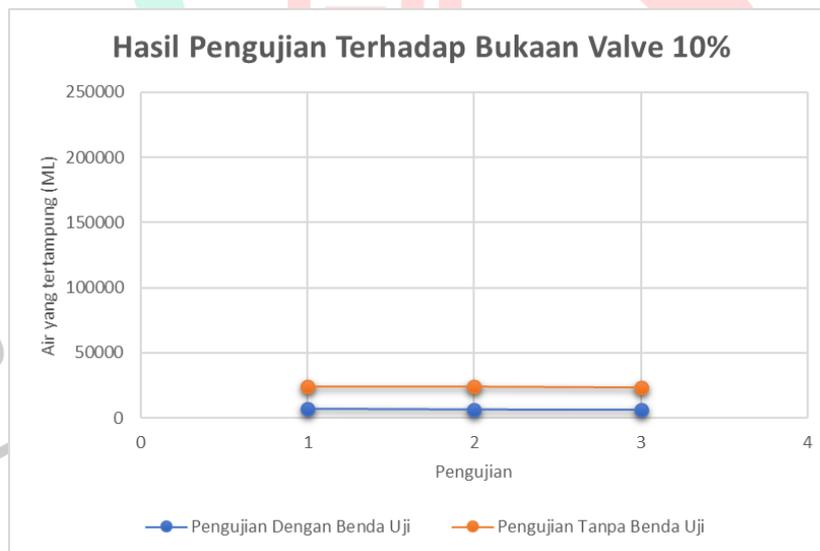
mengindikasikan bahwa modul green pavement mampu memperlambat laju aliran air

b) Kinerja dalam Pengendalian Air

- Penurunan signifikan pengujian tanpa benda uji dan dengan benda uji, mencerminkan potensi modul green pavement dalam mengurangi risiko genangan air. Hal ini relevan dalam konteks pemukiman urban, di mana sistem drainase sering kali terbatas.

Sehingga, modul green pavement efektif dalam mengurangi kapasitas air yang tertampung dalam sistem aliran dengan bukaan valve sebesar 15%. Hal ini mengindikasikan bahwa green pavement dapat menjadi elemen penting dalam desain kawasan pemukiman urban yang lebih berkelanjutan, dengan fungsi utama untuk mengelola aliran permukaan, meningkatkan resapan air, dan mengurangi risiko banjir lokal. Implementasi teknologi ini memiliki potensi besar untuk mendukung konsep sustainable urban development.

J. Bukaan Valve 10%



Gambar 4. 18 Pengujian terhadap Bukaan Valve sebesar 10% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan pada hasil grafik pengujian dengan tanpa benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut:

a) Efek *Green Pavement*

- Pada bukaan valve yang lebih kecil, perbedaan volume air yang tertampung antara pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji tidak

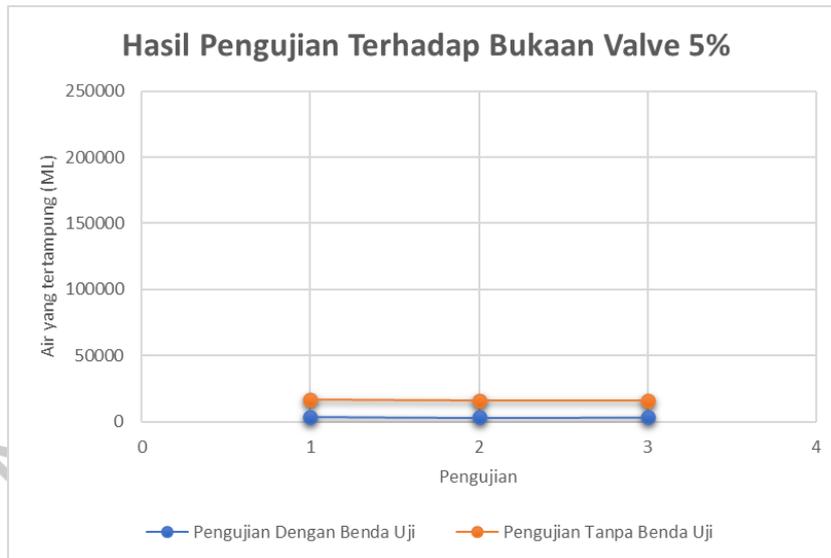
terlalu signifikan dibandingkan dengan hasil pada bukaan valve 15%. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi aliran yang lebih terbatas, modul green pavement tetap efektif dalam mengurangi volume air yang tertampung, meskipun efeknya tidak sebesar pada bukaan valve yang lebih besar.

b) Kaitan dengan Pemukiman Urban

- Dalam situasi aliran air yang lebih kecil, seperti pada hujan dengan intensitas rendah atau sistem drainase dengan kapasitas terbatas, green pavement masih mampu memberikan dampak positif dengan mengurangi aliran permukaan.
- Peran modul ini lebih terlihat sebagai bagian dari sistem pengelolaan air yang mendukung penyerapan dan pengurangan beban sistem drainase di kawasan urban.

Sehingga, Pada bukaan valve sebesar 10%, pengujian menunjukkan bahwa modul green pavement tetap efektif dalam mengurangi volume air yang tertampung dibandingkan dengan kondisi tanpa modul, meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Modul ini berfungsi sebagai pengontrol aliran permukaan dengan potensi mengurangi genangan air, terutama pada kondisi aliran rendah. Dalam konteks kawasan pemukiman urban, modul green pavement memberikan kontribusi yang konsisten dalam mendukung pengelolaan air yang lebih berkelanjutan dan mengurangi tekanan terhadap sistem drainase, bahkan pada kondisi debit aliran yang lebih kecil.

K. Bukaan Valve 5%



Gambar 4. 19 Pengujian terhadap Bukaannya Valve sebesar 5% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Berdasarkan pada hasil grafik pengujian dengan tanpa benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut:

a) Efek *Green Pavement* pada Bukaannya Valve 5%

- Pada kondisi bukaan valve yang sangat kecil, perbedaan volume air yang tertampung antara pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji semakin mengecil. Volume air yang tertampung dengan green pavement menunjukkan pengurangan sekitar ± 5.000 mL dibandingkan tanpa benda uji, tetapi efek modul green pavement tetap ada meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan.

b) Efisiensi pada Debit Rendah

- Pada kondisi debit aliran yang rendah, seperti yang disimulasikan melalui bukaan valve 5%, modul green pavement memiliki fungsi yang lebih terbatas dalam mengurangi volume air yang tertampung. Hal ini bisa disebabkan oleh aliran air yang lebih lambat dan rendah, di mana kapasitas modul green pavement dalam memperlambat aliran tidak diuji secara maksimal.

c) Kaitan dengan Pemukiman Urban

- Pada kawasan urban, green pavement tetap memiliki dampak positif dalam membantu mengelola aliran permukaan meskipun debit aliran kecil. Modul ini dapat berfungsi sebagai pengurang risiko genangan meskipun efeknya lebih terasa pada debit aliran yang lebih tinggi.
- Hasil ini menunjukkan bahwa sistem green pavement dapat mendukung pengelolaan air yang lebih baik dalam kondisi normal (non-hujan deras), terutama untuk menangani aliran air kecil yang biasa terjadi.

Sehingga, Pada bukaan valve 5%, modul green pavement tetap menunjukkan kemampuan untuk mengurangi volume air yang tertampung, meskipun perbedaannya kecil dibandingkan dengan kondisi tanpa modul. Efeknya menjadi lebih signifikan pada debit aliran yang lebih besar, tetapi keberadaan modul tetap berkontribusi dalam mengontrol aliran air dan mendukung sistem drainase perkotaan. Modul ini menunjukkan potensi dalam pengelolaan aliran air permukaan di kawasan pemukiman urban, sekaligus membantu mengurangi tekanan pada sistem drainase, terutama pada kondisi debit rendah atau aliran harian.

Setelah mendapatkan hasil pengujian terhadap modul green pavement, air yang mengalir diatas green pavement dikatakan jenuh. Kemudian hasil tersebut perlu kembali di presentasikan untuk disesuaikan pada koefisien pengaliran, sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Presentase Hasil Pengujian Terhadap Koefisien Pengaliran

Bukaan Valve (%)	Pengujian Terhadap Benda Uji (ML)	Pengujian Tanpa Benda Uji (ML)	Rerata	Efisiensi Retardasi
100%	51800	193000	0,27	0,73
	51700	192000		
	51600	191000		
85%	51000	190000	0,26	0,74
	50000	190000		
	49000	189000		
75%	48400	145000	0,34	0,74
	48300	143000		
	48200	142000		
65%	47900	140000	0,34	0,66
	47900	140000		

Bukaan Valve (%)	Pengujian Terhadap Benda Uji (ML)	Pengujian Tanpa Benda Uji (ML)	Rerata	Efisiensi Retardasi
	47800	139000		
50%	26600	113800	0,23	0,77
	26400	113500		
	26300	113300		
45%	25000	112600	0,22	0,78
	24900	112600		
	24800	112400		
30%	13700	45000	0,31	0,69
	13500	43000		
	13300	42000		
25%	13000	40000	0,33	0,67
	12900	40000		
	12800	39000		
15%	7000	27000	0,26	0,74
	6800	26000		
	6700	25000		
10%	6600	24000	0,27	0,73
	6400	24000		
	6300	23000		
5%	3800	17000	0,20	0,80
	3600	16000		
	3700	16000		

Sumber: Pengolahan Data Peneliti, 2024

Hasil pengujian terhadap benda uji maupun tanpa benda uji memiliki nilai efisiensi retardasi pada nilai interval 0,66 – 0,80. Hal ini dilakukan perhitungan melalui hasil bagi antara rerata pengujian tanpa benda uji dan pengujian dengan benda uji, lalu dikurang dengan nilai 1 (jenuh).

Bukaan valve digunakan untuk mendapatkan curah hujan yang sama dengan debit curah hujan yang digunakan. Pada periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun memiliki nilai analisis dimensional yang kecil atau setara dengan 2,05-3,00 cm³/s. Nilai curah hujan yang dimiliki relatif kecil, jika dilakukan pada pengujian terhadap prototipe modul green pavement dapat disimpulkan bahwa modul dapat menampung curah hujan yang memiliki intensitas kecil karena pada bukaan valve sebesar 5% dapat menampung 28,33 cm³/s.