

## Investigasi Performa dan Kapasitas Sistem Air Hujan Gravitasi

Akhmad Zikri<sup>a\*</sup>, Ojo Kurdi<sup>b</sup>, Syaiful<sup>b</sup>, Rusnaldy<sup>b</sup>, Muhammad Ikhsan<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Program Doktorat Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Semarang, Indonesia

<sup>b</sup>Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Semarang, Indonesia

<sup>c</sup>PT. Siphonic Flow Mandiri

Kawasan Industri Taman Tekno BSD, Jakarta, Indonesia

akhmadzikri165@gmail.com

### Abstract

Climate change has led to an increase in extreme rainfall, requiring a reliable rainwater drainage system. In Indonesia, gravity-based rainwater drainage systems are designed according to the SNI 8153:2015 standard. Based on this study, the capacity of vertical pipes DN50 (2"), DN65 (2.5"), and DN75 (3") listed in Table 17 of SNI 8153:2015 can be calculated using the Wyly-Eaton equation with  $f = 0.33$ ,  $k_b = 0.25$  mm, and the internal diameter of the pipe corresponding to PVC B pipe products. Table 17 of SNI 8153:2015 does not accommodate differences in internal diameters due to variations in pipe types and models available on the market, leading to uncertainties in gravity system design calculations. Additionally, the rainwater drainage capacity listed in the table does not consider outlet and out capacity. This omission disregards the fact that flow direction changes as rainwater moves from gutters or roofs into vertical pipes, and the geometry of outlets and roof drains can influence capacity. The capacity of sharp-edged outlets with and without roof drains can be calculated using the BS EN 12056-3:2000 standard equations. However, these equations must be validated through experimental results for certain water heights. Experiments conducted on DN75 (3") pipes indicate that the equation is only accurate for water heights  $h < 33$  mm. For  $h > 33$  mm, experimental results show higher capacities than theoretical calculations. Based on these experiments, the maximum capacity of a DN75 (3") vertical pipe with a water height of  $h = 44$  mm is 4.67 L/s for a sharp-edged outlet without a roof drain and 2.23 L/s with a dome-type roof drain.

**Keywords:** gravity drainage system, vertical pipe capacity, outlet, roof drain, sharp edge outlet

### Abstrak

Perubahan iklim menyebabkan peningkatan curah hujan ekstrem yang menuntut sistem drainase air hujan yang handal. Di Indonesia, sistem air hujan gravitasi didesain mengacu kepada standar SNI 8153:2015. Dari hasil penelitian ini, kapasitas pipa tegak DN50 (2"), DN65 (2,5") dan DN 75 (3") pada Tabel 17 standar SNI 8153:2015 dapat dihitung dengan persamaan Wyly-Eaton dengan menggunakan nilai  $f = 0,33$ ,  $k_b = 0,25$  mm dan diameter dalam pipa sesuai produk Pipa PVC B. Tabel 17 standar SNI 8153:2015 tidak dapat mengakomodasi perbedaan diameter internal akibat variasi jenis dan tipe pipa yang ada di pasaran sehingga menimbulkan ketidakpastian dalam perhitungan desain sistem gravitasi. Kapasitas sistem air hujan pada Tabel 17 standar SNI 8153:2015 tidak mempertimbangan kapasitas *outlet* dan *roof drain*. Hal ini meniadakan fakta bahwa perubahan arah aliran ketika air hujan mengalir dari talang atau atap kemudian masuk ke pipa tegak dan geometri *outlet* dan *roof drain* dapat mempengaruhi kapasitas. Kapasitas *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan dengan *roof drain* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada standar BS EN 12056-3:2000. Akan tetapi, untuk ketinggian air tertentu, persamaan ini harus divalidasi dengan hasil eksperimen. Hasil eksperimen pada DN 75 (3") menunjukkan persamaan ini hanya sesuai untuk ketinggian air  $h < 33$  mm. Untuk  $h > 33$  mm, hasil eksperimen menunjukkan kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan perhitungan. Berdasarkan hasil eksperimen, rekomendasi kapasitas maksimum pipa tegak DN 75 (3") dengan ketinggian air  $h = 44$  mm adalah 4.67 L/s untuk *outlet* tipe *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan 2.23 L/s dengan *roof drain* tipe *dome*.

**Kata kunci:** Sistem air hujan gravitasi, kapasitas pipa tegak, *outlet*, *roof drain*, *sharp edge outlet*

### 1. Pendahuluan

Perubahan iklim telah menyebabkan peningkatan intensitas dan frekuensi hujan ekstrim di berbagai wilayah dunia. Curah hujan ekstrim dengan durasi yang lebih pendek dan waktu yang lebih lama membutuhkan sistem drainase yang lebih efisien dan optimal untuk mencegah luapan yang dapat merusak properti bangunan dan struktur. Studi terbaru menunjukkan terjadi peningkatan curah hujan ~7% untuk setiap 1°C pemanasan [1]. Saat ini terdapat dua teknologi sistem drainase air hujan yang umum digunakan yaitu pertama adalah sistem gravitasi dan yang kedua adalah sistem sifonik.

Sistem air hujan gravitasi adalah salah satu sistem yang banyak dan umum digunakan untuk drainase air hujan pada gedung. Sistem gravitasi umumnya terdiri dari *outlet* terbuka yang terhubung ke pipa air hujan vertikal yang dirancang untuk beroperasi pada tekanan atmosfer dengan rongga udara yang menerus di tengah-tengah pipa [2]. Secara umum, pendekatan dalam desain sistem gravitasi adalah pipa tegak didesain hanya terisi oleh 33% air (sisanya 67% udara) dan pipa horizontal dipasang dengan kemiringan yang terisi 70% air (sisanya 30% udara) [3]. Pola aliran pada pipa tegak sistem gravitasi adalah *annular flow* dimana air mengalir pada dinding dalam pipa dengan rongga udara (*air core*) di tengah-tengahnya sehingga tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer [3 - 6]. Umumnya, perhitungan desain kapasitas pipa tegak menggunakan persamaan Wyly-Eaton dan kapasitas pipa horizontal menggunakan persamaan Colebrook-white [3, 7]. Namun demikian, kapasitas aliran pada sistem gravitasi biasanya ditentukan oleh ukuran *outlet* dan oleh kedalaman air di atasnya [2]. May [5] menyatakan bahwa poin penting pada sistem gravitasi adalah *roof drain*, karena *roof drain* menentukan debit yang dapat dialirkan pada sistem dan terkadang menentukan ketinggian air di talang. Tujuan utama merancang pipa tegak sistem gravitasi maksimum terisi 33% oleh air adalah untuk menjaga agar tekanan di dalam pipa tetap pada tekanan atmosfer. Dengan demikian operasi sistem gravitasi yang bekerja pada tekanan di bawah tekanan atmosfer (tekanan negatif) serta terjadinya fluktuasi tekanan di dalam pipa dapat dihindari. Tekanan negatif di dalam pipa dapat menyebabkan kegagalan pada sistem perpipaan. Sementara fluktuasi tekanan di dalam pipa dapat menyebabkan getaran pada struktur sistem perpipaan. Getaran pada struktur perpipaan dapat menyebabkan kerusakan komponen pipa, *fitting* dan sambungannya serta kegagalan pada *bracket*. Sistem gravitasi umumnya tidak didesain untuk mengantisipasi kondisi ini.

Saat ini terdapat beberapa standar yang dapat digunakan dalam mendesain sistem air hujan gravitasi. Standar BS EN 12056-3:2000 adalah salah satu standar yang banyak digunakan untuk mendesain sistem air hujan gravitasi khususnya di Inggris dan Eropa [8]. Pada standar ini, selain mencantumkan tabel kapasitas maksimum pipa tegak, juga dinyatakan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kapasitas pipa tegak dan pipa horizontal. Kapasitas pipa tegak dihitung berdasarkan persamaan Wyly-Eaton dan kapasitas pipa horizontal menggunakan persamaan Colebrook-white [8]. Disamping itu, standar BS EN 12056-3:2000 juga mengatur perhitungan desain kapasitas berdasarkan jenis *outlet* dan penggunaan *roof drain* atau saringan. May [7] menjelaskan bahwa *outlet* didefinisikan sebagai sebuah bukaan pada dasar talang atau atap yang mengalirkan air langsung ke pipa tegak air hujan. Terdapat 3 jenis *outlet* berbentuk lingkaran yaitu *straight taper*, *round edged* dan *sharp-edged*. Selain itu, pada standar ini penggunaan *roof drain* atau saringan pada *outlet* akan mengurangi 50% kapasitas dibandingkan dengan tanpa *roof drain*. Perhitungan kapasitas *outlet* juga dipengaruhi oleh ketinggian air di atas *outlet* dimana untuk  $h \leq D/2$  adalah tipe *weir-type flow* dan untuk  $h \geq D/2$  adalah tipe *orifice-type flow* [7, 8].

Di Indonesia, perhitungan perancangan drainase air hujan atap diatur berdasarkan standar SNI 8153:2015 tentang "Sistem Plumbing Pada Bangunan Gedung"[9]. Standar SNI 8153:2015 mengacu pada standar *Plumbing Uniform Plumbing Code* (UPC) 2012 dan *UPC Study Guide* 2012 yang disusun dan diterbitkan oleh *International Association of Plumbing and Mechanical Officials* (IAPMO). Pendekatan perancangan sistem air hujan adalah berdasarkan metoda luas atap. Pada standar SNI 8153:2015, kapasitas maksimum pipa tegak sistem gravitasi mengacu kepada Tabel 17 dengan perkiraan ketinggian air 44 mm. Berbeda dengan Standar BS EN 12056-3, Standar SNI 8153:2015 tidak mencantumkan persamaan yang dapat menghitung kapasitas pipa tegak dan horizontal serta tidak juga mencantumkan perhitungan desain kapasitas *outlet* dan penggunaan saringan (*roof drain*). Disamping itu, pada Tabel 17 standar SNI 8153:2015, tidak dinyatakan dengan jelas apakah tabel ini telah memperhitungkan jenis *outlet* dan penggunaan *roof drain* atau tidak. Standar UPC mensyaratkan harusnya penggunaan *roof drain* dengan dimensi ketinggian minimum 102 mm dari permukaan atap dan luas minimum bukaan *roof drain* 1,5 kali dari luas permukaan pipa tegak.

Escarameia dan May [10] adalah peneliti pertama yang berusaha mengukur kapasitas berbagai jenis *outlet* dengan *roof drain* dan tanpa *roof drain* pada sistem gravitasi untuk kasus pada atap datar (*flat roof*). Penelitian mereka melibatkan enam jenis *roof outlet* dengan bentuk *outlet* dan *roof drain* (*leafguard*) yang berbeda. Jenis *outlet* yang mereka tetiti terdiri dari tipe *straight-taper outlet*, tipe *square-tapered outlet*, dan tipe *sump outlet*. *Outlet-outlet* ini juga memiliki variasi diameter *spigot*, diameter dan ketinggian *roof drain* (*leafguard*), dan material yang berbeda-beda. May dan Escarameia [2] juga melaporkan hasil eksperimen kapasitas sistem gravitasi untuk kasus pada talang. Salah satu hasil penting eksperimen mereka adalah perbedaan ketinggian antara hasil perhitungan dengan standar BS 6367 dan dengan hasil eksperimen sistem drainase konvensional. Pada ketinggian air rendah, deviasi hasil perhitungan dengan eksperimen masih relatif kecil tetapi ketika ketinggian air tinggi deviasi hasil perhitungan dengan eksperimen semakin besar.

Laporan penelitian yang diterbitkan oleh American Society of Plumbing Engineers Research Foundation (ASPE RF) menyatakan bahwa metoda perancangan sistem air hujan dengan pendekatan luas atap, seperti metoda pada Standar SNI 8153:2015 dan standar *Plumbing Uniform Plumbing Code* (UPC) 2012 yang menjadi rujukan standar SNI, harus ditinggalkan karena tidak memperhitungkan kemiringan dan kekasaran dari atap serta tidak mempertimbangkan kapasitas dari *roof drain* [11]. Hasil penelitian ini juga merekomendasikan untuk menggunakan metode perhitungan baru dalam perancangan sistem air hujan yang didasarkan kepada kapasitas *roof drain*, ketinggian air pada *roof drain* dan kapasitas maksimum dari sistem perpipaan. Rekomendasi pada dasarnya sama dengan pendekatan desain air hujan sebagaimana standar BS EN 12056-3:2000. Laporan ini juga menyebutkan beberapa dampak yang disebabkan kegagalan pada sistem gravitasi yaitu: keruntuhan atap, terpisahnya pipa dan *fitting*, *hanger* yang terlepas dari pelat lantai/*ceiling*, banjir pada

balkon di level atas, kegagalan *fitting*, dan banjir pada lantai teratas gedung akibat kegagalan pipa [11]. Salah satu penyebab kegagalan ini adalah operasi sistem gravitasi berubah dari *regime* 1 yang tidak bertekanan menjadi *regime* 2 yang bertekanan dan berfluktuasi. Laporan ASPE RE ini harus mendapat perhatian karena sampai saat ini belum dilakukan perubahan pada Standar SNI 8153:2015.

Dari uraian diatas terlihat bahwa standar SNI 8153:2015 tidak mencantumkan persamaan pipa kapasitas pipa tegak dan tidak mempertimbangkan jenis *outlet* dan penggunaan *roof drain*. Disamping itu, penelitian-penelitian investigasi performa sistem gravitasi sebelumnya menggunakan geometri dan jenis *outlet* dan *roof drain* sistem gravitasi yang berbeda dengan geometri dan jenis yang umumnya tersedia secara komersial di pasaran Indonesia. Bentuk dan geometri *outlet* dan *roof drain* akan mempengaruhi kapasitas yang dapat masuk ke dalam pipa tegak sistem gravitasi. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui performa sistem gravitasi melalui metode eksperimen dan perhitungan. Jenis *outlet* yang diteliti adalah tipe *sharp-edge outlet* dan *roof drain* berbentuk *dome* yang umum digunakan dan tersedia secara komersial di pasaran di Indonesia. Penelitian ini dibatasi pada 3 variasi diameter yaitu DN 50 (2”), DN 65 (2,5”) dan DN 75 (3”). Tujuan penelitian ini adalah mengetahui persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kapasitas pipa tegak pada Tabel 17 Standar SNI 8153:2015, mengetahui kapasitas *outlet* dan *roof drain* melalui metode perhitungan, mendapatkan kapasitas *outlet* dan *roof drain* DN 75 (3”) pada beberapa variasi ketinggian yaitu 11 mm, 22 mm, 33 mm, 44 mm, dan 55 mm secara perhitungan dan eksperimen, dan untuk mengetahui kapasitas maksimum rekomendasi pipa DN 75 (3”) berdasarkan eksperimen. Untuk mencapai tujuan ini, sebuah sarana eksperimen skala penuh dibangun berdasarkan standar ASME A112.6.9-2005.

## 2. Material dan metode penelitian

### 2.1. Perhitungan kapasitas sistem gravitasi

Tabel 1 memperlihatkan kapasitas maksimum pipa tegak berdasarkan Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 dengan ketinggian desain air,  $h = 44$  mm. Kapasitas maksimum pipa tegak untuk pipa ukuran DN 65 (2,5”) pada Tabel 1 didapatkan melalui interpolasi.

**Tabel 1.** Variabel perhitungan kapasitas pipa tegak

Diameter nominal pipa, DN (mm)	Diameter pipa (inch)	Kapasitas maksimum pipa tegak (Tabel 17 SNI 8153:2015), $Q_{Maks}$ (L/s)	Produk Pipa A, Diameter Internal, $d_i$ (mm)	Produk Pipa B, Diameter Internal $d_i$ (mm)	$f$	$k_b$
DN 50	2”	1,80	55,4	51,8	0,33	0,25
DN 65	2,5”	3,66	70,8	67,8	0,33	0,25
DN 75	3”	5,52	82,8	78,0	0,33	0,25

Sesuai tujuan pada penelitian ini yaitu mengetahui persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kapasitas pipa tegak pada Tabel 17 Standar SNI 8153:2015, maka alternatif persamaan yang digunakan adalah persamaan Wylie-Eaton sesuai standar BS EN 12056-3:2000 [8] sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1) yaitu:

$$Q = 2,5 \cdot 10^4 \cdot k_b^{-0,167} \cdot d_i^{2,667} \cdot f^{1,667} \tag{1}$$

dimana  $Q$  (L/s) adalah kapasitas pipa tegak maksimum,  $k_b$  adalah kekasaran permukaan pipa (mm) dan  $f$  adalah *filling degree*, dan  $d_i$  (mm) adalah diameter internal pipa. Untuk mengetahui pengaruh  $d_i$  terhadap kapasitas pipa tegak, maka pada penelitian ini digunakan dua produk pipa berbahan PVC yang tersedia secara komersial di pasaran yaitu produk Pipa A dan Pipa B dengan kelas pipa yang berbeda. Tabel 1 memperlihatkan variabel-variabel perhitungan kapasitas pipa tegak.

Untuk mengetahui kapasitas *outlet* dan *roof drain* melalui perhitungan, maka perhitungan kapasitas *outlet* dan kapasitas *roof drain* menggunakan persamaan (2) dan (3) berdasarkan standar BS EN 12056-3:2000. Apabila ketinggian air  $h \leq D/2$  maka digunakan Persamaan (2) untuk *weir-type flow*. Sedangkan apabila  $h \geq D/2$ , maka digunakan Persamaan (3) untuk *orifice-type flow*.

$$Q_0 = \frac{k_o D h^{1,5}}{7500} \tag{2}$$

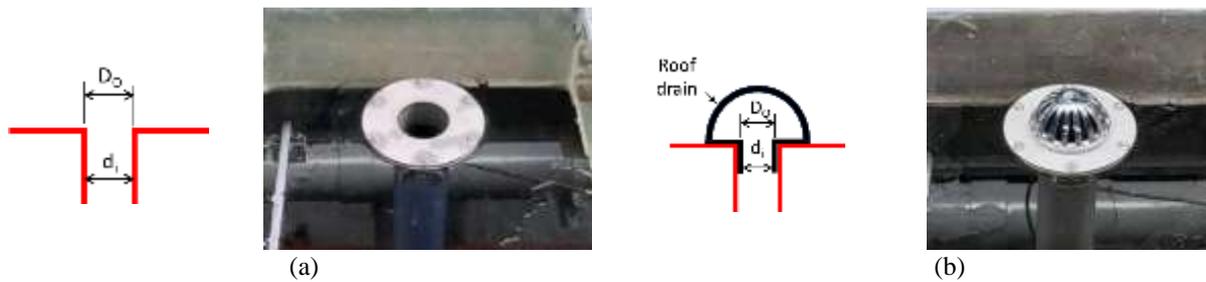
$$Q_0 = \frac{k_o D^2 h^{0,5}}{15000} \tag{3}$$

dimana  $Q_0$  (L/s) adalah total laju aliran yang masuk ke *outlet*,  $h$  (mm) adalah ketinggian air diatas *outlet*, dan  $D$  (mm) adalah diameter efektif dari *outlet*, dan  $k_o$  adalah koefisien *outlet* dimana  $k_o = 1,0$  untuk tanpa *roof drain* dan  $k_o = 0,5$  untuk dengan *roof drain*. Ketinggian air  $h$  pada perhitungan ini disesuaikan dengan ketinggian desain air pada standar SNI 8153:2015 yaitu  $h = 44$  mm. Jenis *outlet* yang digunakan pada penelitian ini adalah *sharp-edge outlet* sehingga nilai dari diameter efektif  $D=D_o=d_i$ . Tabel 2 memperlihatkan variabel-variabel yang digunakan pada perhitungan kapasitas *outlet* tanpa *roof drain* dan dengan *roof drain*.

**Tabel 2.** Variabel perhitungan kapasitas *sharp-edge outlet* tanpa dan dengan *roof drain* tipe *dome* DN 75 (3’’)

Diameter Nominal, DN (mm) (inch)	h (mm)	Sharp-edge outlet tanpa roof drain					Dengan roof drain tipe dome				
		$D_i$ (mm)	D/2 (mm)	Jenis Aliran	Rumus	$k_o$	$D_i$ (mm)	D/2 (mm)	Jenis Aliran	Rumus	$k_o$
DN 50 (2’')	44	53,5	26,8	Orifice	Pers. (3)	1	52,1	26,1	Orifice	Pers. (3)	0,5
DN 65 (2,5’')	44	69,3	34,7	Orifice	Pers. (3)	1	64,4	32,2	Orifice	Pers. (3)	0,5
DN 75 (3’')	44	81,1	40,6	Orifice	Pers. (3)	1	77,2	38,6	Orifice	Pers. (3)	0,5

Gambar 2 memperlihatkan skematik dan foto dari *sharp-edge outlet* dan *roof drain* tipe *dome* yang digunakan pada perhitungan.



**Gambar 2.** (a) Skematik dan foto *sharp-edge outlet*, tanpa *roof drain* (b) skematik dan foto *sharp-edge outlet*, dengan *roof drain* tipe *dome*

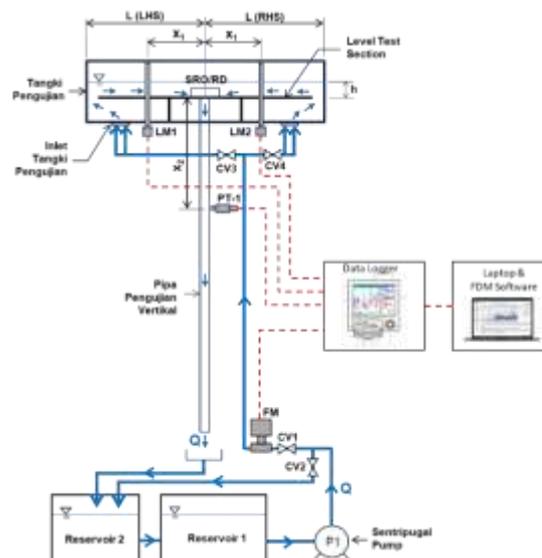
Sementara itu, untuk mengetahui kapasitas *outlet* untuk beberapa variasi ketinggian dilakukan hanya pada pipa ukuran DN 75 (3’'). Perhitungan dilakukan untuk 5 variasi ketinggian dengan interval 11 mm. Tabel 3 memperlihatkan variabel perhitungan kapasitas tanpa *roof drain* untuk DN 75.

**Tabel 3.** Variabel perhitungan kapasitas *sharp-edge outlet* atau tanpa *roof drain* dan dengan *roof drain* untuk pipa DN 75

Variasi ketinggian air, h (mm)	Sharp-edge outlet tanpa roof drain					Dengan roof drain Tipe dome				
	$D_o$ (mm)	D/2 (mm)	Jenis aliran	Rumus	$k_o$	$D_o$ (mm)	D/2 (mm)	Jenis aliran	Rumus	$k_o$
11	81,1	40,5	Weir	Pers. (2)	1	77,2	38,6	Weir	Pers. (2)	0,5
22	81,1	40,5	Weir	Pers. (2)	1	77,2	38,6	Weir	Pers. (2)	0,5
33	81,1	40,5	Weir	Pers. (2)	1	77,2	38,6	Weir	Pers. (2)	0,5
44	81,1	40,5	Orifice	Pers. (3)	1	77,2	38,6	Orifice	Pers. (3)	0,5
55	81,1	40,5	Orifice	Pers. (3)	1	77,2	38,6	Orifice	Pers. (3)	0,5

2.2. Eksperimen

Gambar 3 memperlihatkan fasilitas pengujian eksperimen skala penuh yang dibangun berdasarkan standar ASME A112.6.9-2005[12]. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk mengukur kapasitas dari *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan menggunakan *roof drain* tipe *dome*. Hasil eksperimen kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan.



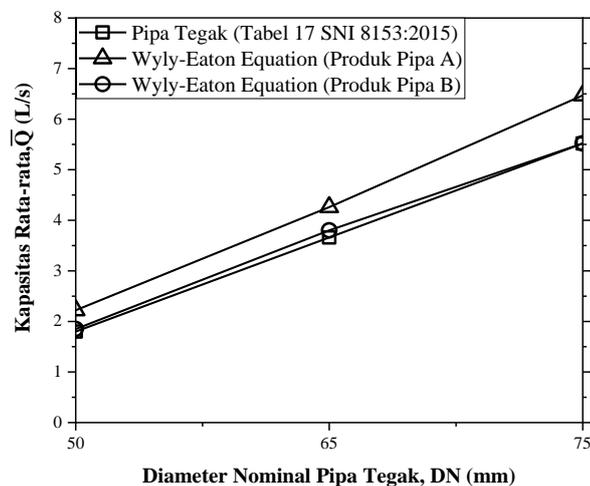
**Gambar 3.** Skema fasilitas pengujian sistem air hujan gravitasi dan sistem sifonik

Pada penelitian ini, tangki pengujian dibuat berbentuk persegi empat agar dapat menggunakan material transparan sehingga mempermudah observasi pada waktu pengujian. Tangki pengujian memiliki dimensi Panjang=2L, Lebar=2L dan Tinggi=0,55L dengan L=1m. *Level test section* tangki pengujian dikalibrasi dengan menggunakan *water pass laser cross line* yang memiliki ketelitian ± 1mm. Air di reservoir 1 dan reservoir 2 di pompa ke tangki pengujian dengan menggunakan satu unit pompa sentrifugal dengan kapasitas 65 L/s. Debit air diukur dengan menggunakan *electromagnetic flow meter* (FM) dengan ketelitian ±0,5 % dan kemudian air masuk ke tangki pengujian melalui empat *inlet* yang memiliki dimensi diameter internal yang sama dan jarak yang sama pada kuadran. Dalam penelitian ini, pendekatan dan metode baru untuk mengukur ketinggian air diusulkan dengan menggunakan dua unit *continues level measurement* (LM), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. *Continues level measurement* terdiri dari *active length* di bagian atas *level test section* dan *in-active length* di bagian bawah *level test section*. Pembacaan ketinggian air dilakukan oleh *active length*. *Active length* dan *in-active length* terbuat dari bahan SS 316L. Panjang *Active length* dan *in-active length* didesain dan diproduksi khusus untuk penelitian ini. Masing-masing *continues level measurement* dipasang pada titik pengukuran  $x_1 = 500$  mm pada *Right Hand Side* (RHS) dan *Left Hand Side* (LHS) tangki pengujian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Setelah pemasangan pada tangki pengujian, dilakukan kalibrasi terhadap *level test section* dan didapatkan akurasi sebesar ±1 mm. Satu unit *pressure transducer* yaitu PT-1 dengan ketelitian ±60 mmH<sub>2</sub>O dipasang pada pipa pengujian vertikal dengan jarak  $x_2 = 850$  mm dari permukaan *level test section*. Total panjang pipa pengujian (termasuk panjang *spigot* SRO atau *spigot outlet* sistem gravitasi) dari *level section test* ke ujung *discharge* pipa adalah 3L. Ujung dari pipa dalam kondisi *free discharge*. Baik *spigot outlet* sistem gravitasi dan *spigot* SRO disambung dengan pipa pengujian vertikal dengan menggunakan *socket*.

Dengan fasilitas eksperimen ini maka ketinggian air, laju aliran dan tekanan dapat diakuisisi secara simultan. Pengujian eksperimen sistem gravitasi dilakukan pada pipa dengan diameter nominal DN 75 (3"). Pada pengujian sistem gravitasi, jenis *outlet* yang digunakan adalah *sharp-edge outlet* dan jenis *roof drain* adalah tipe *dome* yang umum digunakan di Indonesia dan tersedia secara komersial di pasaran. Gambar 2 menunjukkan foto dari *outlet* jenis *sharp-edge* dan *roof drain* tipe *dome* yang digunakan. Pengujian sistem gravitasi dilakukan pada kondisi *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan dengan *roof drain*. Tujuan eksperimen ini adalah: 1) mengetahui kapasitas sistem gravitasi pada DN 75 (3") untuk variasi ketinggian 11 mm, 22 mm, 33 mm, 44 mm dan 55 mm, 2) merekomendasikan kapasitas maksimum sistem gravitasi untuk DN 75 (3").

### 3. Hasil dan pembahasan

Gambar 6 memperlihatkan grafik perbandingan kapasitas pipa tegak berdasarkan Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 dan hasil perhitungan berdasarkan persamaan Wyly-Eaton untuk variasi diameter nominal pipa DN 50 (2"), DN 65 (2,5"), dan DN 75 (3").

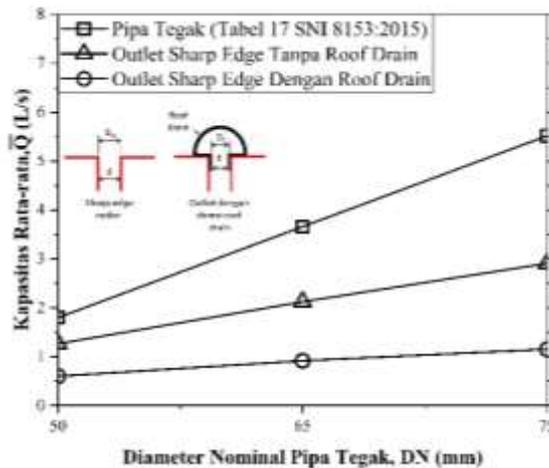


**Gambar 6.** Grafik perbandingan kapasitas pipa tegak berdasarkan Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 dan hasil perhitungan berdasarkan persamaan Wyly-Eaton dengan  $k_b = 0.25$  mm,  $f = 0.33$ .

Dari grafik ini terlihat bahwa produk Pipa A memiliki kapasitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan produk Pipa B. Hal ini disebabkan produk Pipa A memiliki diameter dalam yang lebih besar jika dibandingkan dengan produk Pipa B. Dari grafik ini juga terlihat bahwa, untuk setiap diameter nominal pipa, produk Pipa A memiliki kapasitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kapasitas pipa tegak pada Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 dengan maksimum deviasi sebesar 22,15 %. Produk Pipa B juga memiliki kapasitas yang lebih besar tetapi memiliki maksimum deviasi yang lebih kecil yaitu sebesar 3.67 %. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas pipa tegak pada Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 untuk pipa dengan DN 50 (2"), DN 65 (2,5") dan DN 75 (3") dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Wyly-Eaton dengan  $f=0,33$ ,  $k_b=0,25$  mm, dan diameter dalam pipa sesuai Produk B. Hasil ini juga menunjukkan bahwa, Tabel

17 Standar SNI 8153:2015 tidak dapat mengakomodasi perbedaan diameter dalam pipa akibat variasi jenis material pipa, kelas pipa, standar pipa yang ada di pasaran. Hal ini dapat menyebabkan ketidakpastian dalam perhitungan desain sistem gravitasi dan kegagalan dalam implementasi desain tersebut.

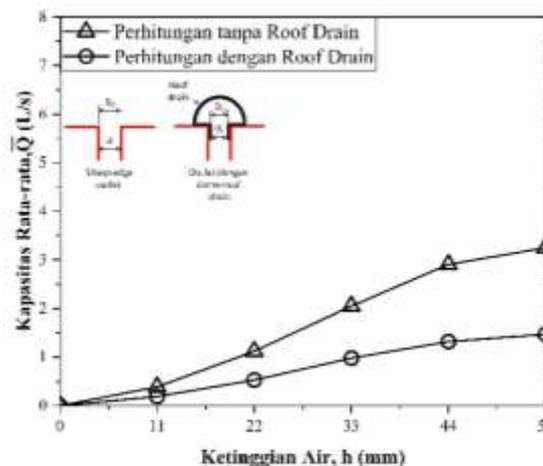
Gambar 7 memperlihatkan perbandingan antara kapasitas pipa tegak berdasarkan Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 dengan kapasitas hasil perhitungan untuk *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan dengan *roof drain* pada ketinggian air  $h=44$  mm, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Dari grafik ini terlihat bahwa kapasitas *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* lebih rendah dibandingkan dengan kapasitas pipa tegak Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 yaitu sebesar 70,32 %, 58,03 % dan 52,69 % untuk masing-masing diameter pipa DN 50 (2"), DN 65 (2,5") dan DN 75 (3"). Sedangkan kapasitas *outlet* dengan *roof drain* tipe *dome* lebih rendah sebesar 33,4 %, 25,06 % dan 20,88 % untuk masing-masing diameter pipa DN 50 (2"), DN 65 (2,5") dan DN 75 (3"). Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas pipa tegak sistem gravitasi pada Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 tidak memperhitungkan jenis *outlet* dan penggunaan *roof drain* (saringan). Tabel 4 memperlihatkan perbandingan kapasitas maksimum berdasarkan Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 dan hasil perhitungan untuk dengan dan tanpa *roof drain*.



**Gambar 7.** Grafik perbandingan kapasitas pipa tegak berdasarkan Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 dan kapasitas hasil perhitungan untuk *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan dengan *roof drain* tipe *dome*,  $h=44$  mm

**Tabel 4.** Perbandingan kapasitas Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 dan hasil perhitungan

Diameter Nominal, DN (mm)	Diameter pipa (inch)	h (mm)	Tabel 17	Hasil perhitungan			
			Standar SNI 8153:2015 (Tidak memperhitungkan jenis outlet dan roof drain)	Sharp-edge outlet, tanpa roof drain	%	Dengan roof drain tipe dome	%
DN 50	2"	44	1,80	1,26 L/s	70,32%	0,60 L/s	33,34%
DN 65	2,5"	44	3,66	2,12 L/s	58,03%	0,92 L/s	25,06%
DN 75	3"	44	5,52	2,90 L/s	52,69%	1,15 L/s	20,88%

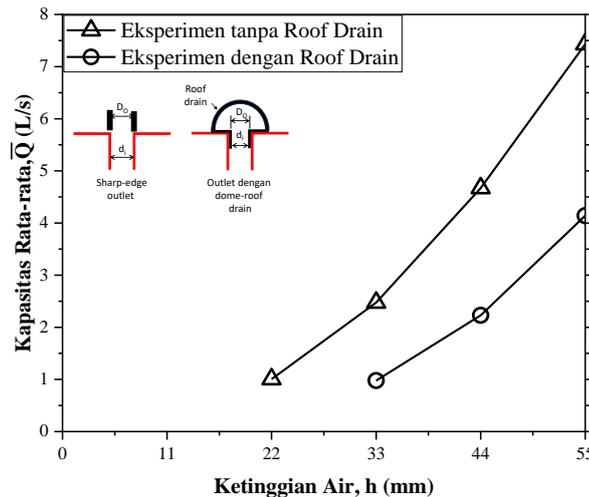


**Gambar 8.** Grafik perbandingan kapasitas *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan dengan *roof drain* tipe *dome* pada beberapa variasi ketinggian dan DN 75 (3") (Untuk *sharp-edge outlet*:  $D_0=d_i=81,1$  mm; Untuk *roof drain*:  $D_0=d_i=77,2$  mm)

Dampak praktis dari hasil ini adalah apabila sistem air hujan suatu bangunan didesain berdasarkan Standar SNI 8153:2015 dengan hanya satu pipa DN 75 (3") dan kapasitas 5,52 L/s, tetapi pada implementasinya akan menggunakan *roof drain* tipe *dome* DN 75 (3"), maka sistem gravitasi dengan satu pipa DN 75 (3") dan ketinggian  $h=44$  mm pada bangunan ini hanya mampu mengalirkan 1,15 L/s atau 20,88 % dari kapasitas pipa tegak Tabel 17 Standar SNI 8153:2015. Untuk mencapai kapasitas 5,52 L/s, dibutuhkan minimum 4 buah pipa DN 75 (3") dengan *roof drain* tipe *dome*.

Gambar 8 memperlihatkan grafik kapasitas *sharp-edge outlet* dengan dan tanpa *roof drain* tipe *dome* untuk DN 75 (3") pada berbagai variasi ketinggian. Dari grafik ini dapat dilihat bahwa ketinggian air mempengaruhi kapasitas. Apabila ketinggian meningkat maka kapasitas akan meningkat. Pada ketinggian yang sama, kapasitas *sharp-edge outlet* dengan *roof drain* lebih rendah dibandingkan *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain*. Pada  $h = 44$  mm, kapasitas *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan dengan *roof drain* tipe *dome* masing-masing adalah 2,91 L/s dan 1,32 L/s.

Gambar 9 memperlihatkan grafik hasil eksperimen kapasitas sistem gravitasi tanpa dan dengan *roof drain* DN 75 (3") untuk beberapa variasi ketinggian air ( $h$ ).



**Gambar 9.** Grafik perbandingan kapasitas sistem gravitasi hasil eksperimen *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan dengan *roof drain* tipe *dome* DN 75 (3") (Untuk *sharp-edge outlet*:  $D_o=d_i=81,1$  mm; Untuk *roof drain*:  $D_o=d_i=77,2$  mm)

Berdasarkan hasil eksperimen pada Gambar 9, didapatkan bahwa kapasitas sistem gravitasi pada ketinggian air  $h < 22$  mm untuk tanpa *roof drain* dan  $h < 33$  mm dengan *roof drain*, tidak dapat terbaca oleh *electromagnetic flow meter* pada eksperimen ini. Dari grafik ini didapatkan bahwa, untuk setiap ketinggian yang sama, kapasitas sistem gravitasi dengan *roof drain* tipe *dome* lebih rendah dibandingkan dengan kapasitas *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain*. Kapasitas sistem gravitasi *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain*, untuk variasi ketinggian air 22 mm, 33 mm, 44 mm dan 55 mm, berturut-turut adalah 1.01 L/s, 2.47 L/s, 4.67 L/s, dan 7.43 L/s. Sedangkan kapasitas dengan *roof drain*, untuk variasi ketinggian 33 mm, 44 mm dan 55 mm, berturut-turut adalah 0.97 L/s, 2.23 L/s, dan 4.14 L/s.

Untuk ketinggian air  $h=44$  mm, hasil eksperimen ini menunjukkan hasil yang berbeda dengan kapasitas pada Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 yaitu 5,52 L/s. Berdasarkan hasil eksperimen, pada  $h=44$  mm, kapasitas *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* adalah 4,67 L/s yaitu 84,60% dari kapasitas Tabel 17 Standar SNI 8153:2015. Sedangkan dengan *roof drain* tipe *dome* adalah 2,23 L/s yaitu 40,39% dari kapasitas Tabel 17 Standar SNI 8153:2015. Jenis *outlet* dan penggunaan *roof drain* akan berpengaruh kepada kapasitas sistem gravitasi. Tabel 4 memperlihatkan perbedaan kapasitas sistem gravitasi untuk DN 75 (3") berdasarkan Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 dan hasil eksperimen dengan dan tanpa *roof drain*.

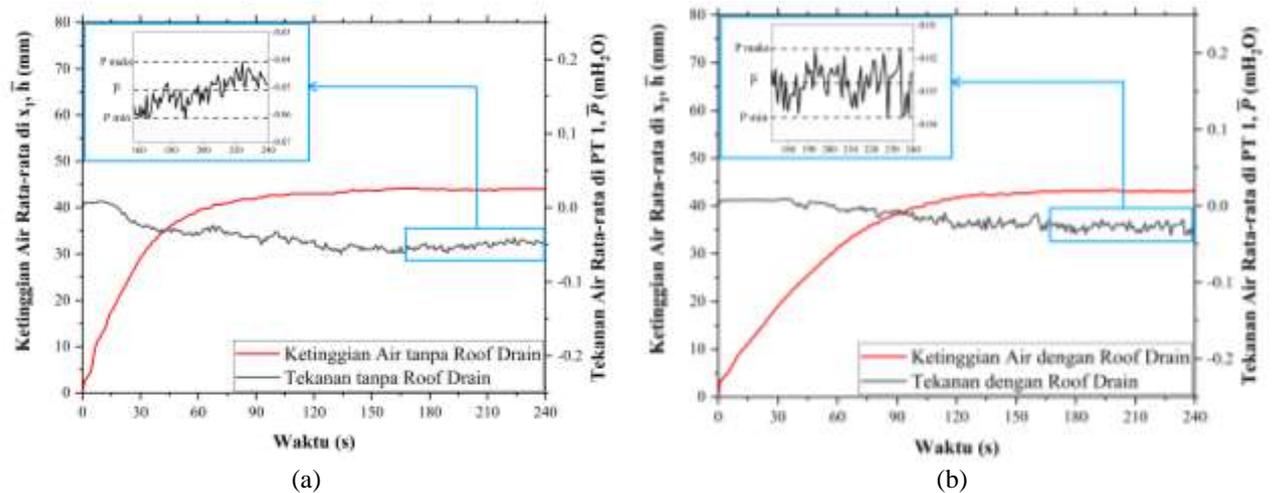
**Tabel 5.** Perbandingan kapasitas DN75 (3") Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 dan hasil eksperimen

Diameter Nominal, DN (mm)	h (mm)	Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 (Tidak memperhitungkan jenis outlet dan roof drain)	Hasil eksperimen			
			Sharp-edge outlet, tanpa roof drain	%	Dengan roof drain tipe dome	%
DN 75 (3")	44	5,52 L/s	4,67 L/s	84,60%	2,23 L/s	40,39%

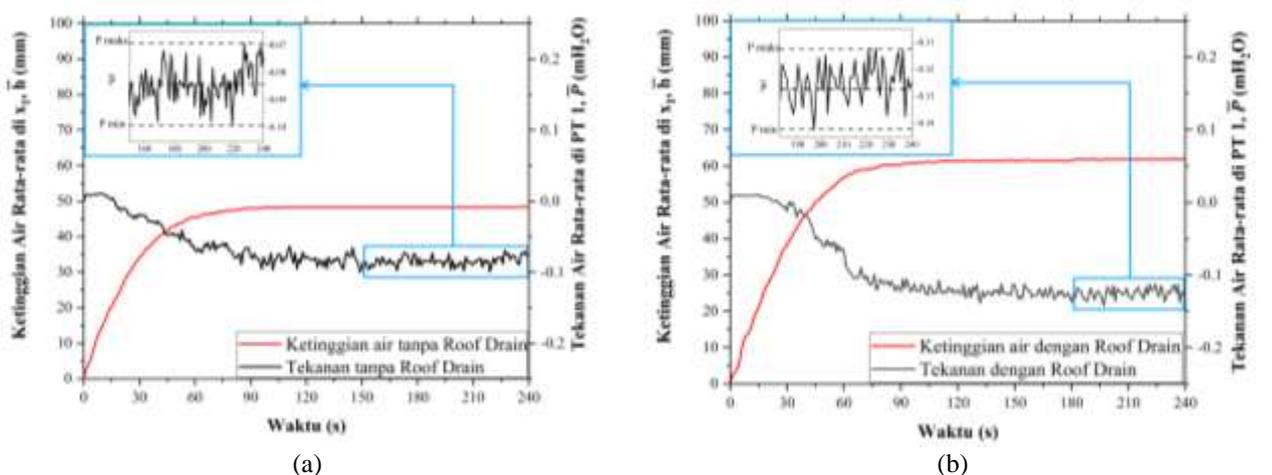
Hasil eksperimen ini menegaskan kembali hasil perhitungan, bahwa Tabel 17 Standar SNI 8153:2015 tidak memperhitungkan jenis *outlet* dan penggunaan *roof drain*. Perhitungan desain sistem air hujan gravitasi berdasarkan standar SNI 8153:2015 dengan pendekatan luas atap serta tidak mempertimbangkan pengaruh jenis *outlet* dan penggunaan *roof drain* adalah tidak sesuai dengan hasil eksperimen. Disamping itu, pendekatan ini meniadakan fakta bahwa sebelum air hujan masuk ke dalam pipa tegak, maka air hujan akan mengalir melalui atap atau talang yang datar atau yang memiliki

kemiringan kearah *outlet*, adanya perubahan arah aliran dari talang atau atap menuju pipa tegak, serta bentuk dan geometri *roof drain* yang dapat mempengaruhi kapasitas sistem gravitasi.

Gambar 10(a) memperlihatkan grafik tekanan rata-rata  $\bar{P}$  hasil eksperimen sistem gravitasi dengan *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* pada kapasitas debit  $Q = 4,67$  L/s dan ketinggian air rata-rata  $\bar{h} = 44$  mm. Dari grafik ini terlihat bahwa tekanan rata-rata  $\bar{P}$  pada titik pengukuran PT-1 turun di bawah tekanan atmosfer. Ketinggian air yang stabil pada 44 mm dicapai pada detik ke-157, dengan tekanan rata-rata  $\bar{P}$  antara detik ke-157 dan ke-240 adalah  $-0,052$  mH<sub>2</sub>O. Terjadi fluktuasi tekanan dengan tekanan maksimum  $-0,041$  mH<sub>2</sub>O dan minimum  $-0,061$  mH<sub>2</sub>O pada rentang detik ke-157 sampai dengan ke-240. Tekanan rata-rata ini sangat kecil dan dapat diabaikan, sehingga tekanan di dalam pipa dianggap sama dengan tekanan atmosfer. Sementara itu, Gambar 10(b) memperlihatkan grafik tekanan rata-rata  $\bar{P}$  hasil eksperimen sistem gravitasi dengan *roof drain* tipe *dome* pada kapasitas debit  $Q = 2,23$  L/s dan ketinggian air rata-rata  $\bar{h} = 44$  mm. Dari grafik ini terlihat bahwa tekanan rata-rata  $\bar{P}$  turun dibawah tekanan atmosfer. Ketinggian air stabil pada 44 mm dicapai pada detik ke-172, dengan tekanan rata-rata  $\bar{P}$  antara detik ke-172 dan ke-240 adalah  $-0,027$  mH<sub>2</sub>O. Terjadi fluktuasi tekanan dengan tekanan maksimum  $-0,017$  mH<sub>2</sub>O dan minimum  $-0,038$  mH<sub>2</sub>O pada rentang detik ke-172 sampai dengan ke-240. Tekanan rata-rata ini sangat kecil dan dapat diabaikan, sehingga tekanan di dalam pipa dianggap sama dengan tekanan atmosfer. Penggunaan *roof drain* tipe *dome* menyebabkan waktu yang lebih lama untuk mencapai ketinggian yang stabil jika dibandingkan dengan tanpa *roof drain*. Hasil ini menunjukkan bahwa apabila suatu bangunan didesain dengan sistem gravitasi menggunakan pipa tegak DN 75 (3") dan dengan *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* atau dengan *roof drain* tipe *dome* pada debit masing-masing  $Q = 4,67$  L/s dan  $Q = 2,23$  L/s, maka masih dalam kriteria desain sistem gravitasi yaitu tekanan di dalam pipa mendekati atau sama dengan tekanan atmosfer.



**Gambar 10.** Grafik ketinggian air rata-rata  $\bar{h}$  dan tekanan rata-rata  $\bar{P}$  sistem gravitasi hasil eksperimen pada  $h = 44$  mm (a)  $Q = 4,67$  L/s, tanpa *roof drain* (b)  $Q = 2,23$  L/s, dengan *roof drain* tipe *dome*



**Gambar 11.** Grafik ketinggian air  $\bar{h}$  dan tekanan  $\bar{P}$  sistem gravitasi pada  $Q = 5,52$  L/s (a) tanpa *roof drain* (b) dengan *roof drain*

Gambar 11(a) memperlihatkan grafik tekanan rata-rata  $\bar{P}$  hasil eksperimen sistem gravitasi dengan *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* pada debit  $Q = 5,52$  L/s (sesuai kapasitas maksimum pipa tegak Tabel 17 standar SNI 8153:2015). Dari grafik ini terlihat bahwa terjadi fluktuasi tekanan di dalam pipa dan tekanan statik di PT-1 turun di bawah tekanan

atmosfer, yaitu menjadi tekanan negatif. Ketinggian air rata-rata yang stabil adalah  $\bar{h} = 49$  mm yang dicapai pada detik ke-150. Tekanan rata-rata  $\bar{P}$  antara detik ke-150 dan ke-240 adalah  $-0,084$  mH<sub>2</sub>O. Terjadi fluktuasi tekanan dengan tekanan maksimum  $-0,069$  mH<sub>2</sub>O dan minimum  $-0,099$  mH<sub>2</sub>O pada rentang detik ke-150 sampai dengan ke-240. Gambar 11(b) memperlihatkan grafik tekanan rata-rata  $\bar{P}$  hasil eksperimen sistem gravitasi dengan *roof drain* tipe *dome* pada kapasitas  $Q = 5,52$  L/s. Dari grafik ini terlihat bahwa terjadi fluktuasi tekanan di dalam pipa dan tekanan statik di PT-1 turun di bawah tekanan atmosfer, yaitu menjadi tekanan negatif. Fluktuasi tekanan dan tekanan rata-rata  $\bar{P}$  lebih besar jika dibandingkan dengan tanpa *roof drain*. Fluktuasi tekanan terjadi dengan tekanan maksimum  $-0,112$  mH<sub>2</sub>O dan minimum  $-0,142$  mH<sub>2</sub>O pada rentang detik ke-182 sampai dengan ke-240. Penggunaan *roof drain* menyebabkan penurunan tekanan  $\bar{P}$  sebesar 42,85% dari  $-0,084$  mH<sub>2</sub>O menjadi  $-0,120$  mH<sub>2</sub>O. Disamping itu penggunaan *roof drain* dapat meningkatkan ketinggian air rata-rata  $\bar{h}$  sebesar 24,5 %, dari 49 mm menjadi 61 mm. Ketinggian air rata-rata yang stabil dicapai ketika detik ke-172. Hasil eksperimen ini menunjukkan bahwa pada debit 5,52 L/s, sistem tidak lagi sesuai dengan kriteria sistem gravitasi. Tekanan statik di dalam pipa turun di bawah tekanan atmosfer, yaitu menjadi tekanan negatif. Terjadi fluktuasi tekanan negatif di dalam pipa. Penggunaan *roof drain* menyebabkan tekanan negatif di dalam pipa semakin membesar dan ketinggian air meningkat serta waktu untuk mencapai kapasitas maksimum yang lebih lama. Maka dapat disimpulkan bahwa untuk debit 5,52 L/s, terjadi transisi dari regime 1 sistem gravitasi menjadi regime 2 yaitu *unsteady flow* dengan fluktuasi tekanan yang menjadi karakteristik sistem sifonik. Oleh karena itu, debit 5,52 L/s tidak direkomendasikan digunakan pada desain sistem gravitasi.

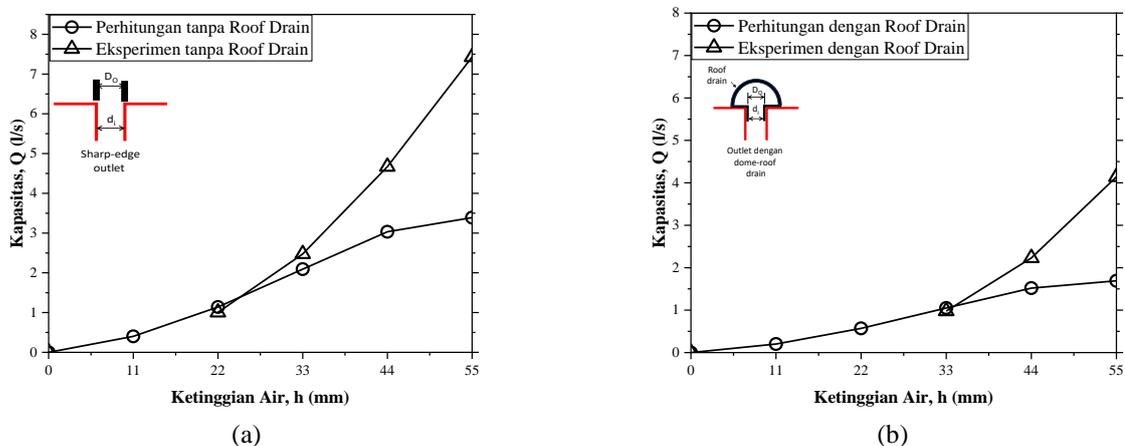
Hasil eksperimen ini merekomendasikan kapasitas maksimum sistem gravitasi dengan pipa ukuran DN 75 (3") yang dapat digunakan dalam desain sistem gravitasi dengan *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* atau dengan *roof drain* sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5. *Roof drain* yang digunakan pada sistem gravitasi harus mencantumkan kapasitas maksimum dan ketinggian air yang direkomendasikan. Hasil penelitian ini juga merekomendasikan untuk dilakukan kajian ulang terhadap perhitungan desain sistem air hujan berdasarkan Standar SNI 8153:2015 dengan mempertimbangkan jenis *outlet* dan *roof drain*.

**Tabel 6.** Rekomendasi kapasitas maksimum sistem gravitasi untuk DN 75 (3") berdasarkan hasil eksperimen

Diameter Nominal, DN (mm)	h (mm)	Rekomendasi kapasitas maksimum berdasarkan hasil eksperimen	
		Tanpa <i>roof drain</i> ( <i>sharp-edge outlet</i> )	Dengan <i>roof drain</i> tipe <i>dome</i>
DN 75 (3")	44	4,67 L/s	2,23 L/s

Gambar 12(a) memperlihatkan grafik perbandingan kapasitas sistem gravitasi hasil eksperimen dengan hasil perhitungan untuk *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* ukuran DN 75 (3"). Dari gambar ini terlihat bahwa, pada ketinggian air  $h > 33$  mm, kapasitas hasil eksperimen cenderung lebih besar. Untuk setiap ketinggian yang sama, selisih antara hasil eksperimen dengan hasil perhitungan semakin membesar. Terdapat deviasi sebesar 9,8 % (deviasi 1,12 L/s), 17,2 % (deviasi 2,05 L/s), 37,7 % (deviasi 2,91 L/s), dan 56,3 % (deviasi 3,25 L/s) untuk ketinggian masing-masing 22 mm, 33 mm, 44 mm dan 55 mm.

Gambar 12(b) memperlihatkan grafik perbandingan kapasitas sistem gravitasi hasil eksperimen dengan hasil perhitungan untuk *outlet* dengan *roof drain* tipe *dome* pada DN 75 (3"). Dari gambar ini terlihat bahwa, pada ketinggian air  $h > 33$  mm, kapasitas hasil eksperimen cenderung lebih besar dibandingkan hasil perhitungan. Untuk setiap ketinggian air yang sama, selisih antara hasil eksperimen dengan hasil perhitungan semakin membesar. Terdapat perbedaan sebesar 1,1 % (deviasi 0,98 L/s), 40,9 % (deviasi 1,32 L/s) dan 54,7 % (deviasi 1,47 L/s) untuk ketinggian berturut-turut 33 mm, 44 mm dan 55 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa Persamaan (2) dan (3) yang digunakan untuk perhitungan kapasitas *outlet* dan *roof drain* kurang sesuai untuk tipe *sharp-edge outlet* dan tipe *roof drain* yang digunakan pada penelitian ini khususnya pada ketinggian  $h > 33$  mm.



**Gambar 12.** Grafik perbandingan kapasitas sistem gravitasi hasil eksperimen dan perhitungan untuk DN 75 dan berbagai variasi ketinggian (a) *outlet* tanpa *roof drain* (b) dengan *roof drain* tipe *dome*

#### 4. Kesimpulan dan Rekomendasi

Kapasitas pipa tegak DN 50 (2"), DN 65 (2,5") dan DN 75 (3") pada Tabel 17 standar SNI 8153:2015 dapat dihitung dengan persamaan Wyly-Eaton dengan menggunakan nilai  $f = 0,33$ ,  $k_b = 0,25$  mm dan diameter dalam pipa sesuai produk Pipa PVC B. Tabel 17 standar SNI 8153:2015 tidak dapat mengakomodasi perbedaan diameter internal akibat variasi jenis dan tipe pipa yang ada di pasaran sehingga menimbulkan ketidakpastian dalam perhitungan desain sistem gravitasi. Kapasitas sistem air hujan pada Tabel 17 standar SNI 8153:2015 tidak mempertimbangkan kapasitas *outlet* dan *roof drain*. Hal ini meniadakan fakta bahwa perubahan arah aliran ketika air hujan mengalir dari talang atau atap kemudian masuk ke pipa tegak dan hambatan aliran akibat bentuk dan geometri *outlet* dan *roof drain* dapat mempengaruhi kapasitas.

Kapasitas *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan dengan *roof drain* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada standar BS EN 12056-3:2000. Akan tetapi, untuk ketinggian air tertentu, persamaan ini harus divalidasi dengan hasil eksperimen. Hasil eksperimen pada DN 75 (3") menunjukkan persamaan ini hanya sesuai untuk ketinggian air  $h < 33$  mm. Untuk  $h > 33$  mm, hasil eksperimen menunjukkan kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan perhitungan.

Berdasarkan hasil eksperimen, rekomendasi kapasitas maksimum pipa tegak DN 75 (3") dengan ketinggian air  $h = 44$  mm adalah 4,67 L/s untuk *outlet* tipe *sharp-edge outlet* tanpa *roof drain* dan 2,23 L/s dengan *roof drain* tipe *dome*. Penggunaan *roof drain* dapat meningkatkan tekanan negatif sebesar 42,85% dan peningkatan ketinggian air (h) sebesar 24,5%. Disamping itu, diperlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai ketinggian air (h) yang stabil. Kapasitas desain maksimum 5,52 L/s pada pipa DN 75 (3") tidak direkomendasikan digunakan untuk mendesain sistem air hujan gravitasi yang menggunakan *sharp-edge outlet* dan *roof drain* tipe *dome* dikarenakan aliran di dalam pipa beroperasi pada kondisi *unsteady flow* dengan karakteristik terjadi tekanan negatif dan fluktuasi tekanan yang dapat menyebabkan kegagalan sistem.

Hasil penelitian ini merekomendasikan untuk dilakukan kaji ulang standar SNI 8153:2015. Hal ini selaras dengan rekomendasi dari laporan *American Society of Plumbing Engineers Research Foundation* (ASPE RF). Hasil eksperimen *roof drain* dan dampak perubahan iklim terhadap curah hujan ekstrem dimasa yang akan datang perlu dimasukkan ke dalam revisi standar. Disamping itu, revisi tersebut juga memuat standar konstruksi *roof drain* sistem gravitasi yang lebih detail dan mengatur standar pengujian *roof drain*. Dengan standar ini, maka diharapkan setiap produk *outlet* dan *roof drain* yang ada di pasaran dapat mencantumkan kapasitas maksimum dan ketinggian air yang direkomendasikan.

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengetahui kapasitas maksimum dan ketinggian air sistem gravitasi dengan menggunakan diameter pipa yang lebih besar dengan berbagai variasi *outlet* dan *roof drain* yang umum digunakan di Indonesia. Disamping itu, penelitian lanjutan juga diperlukan untuk mencari persamaan yang sesuai untuk menghitung kapasitas *outlet* dan *roof drain*.

#### Ucapan Terima Kasih

Tim peneliti berterima kasih atas bantuan, dari segi pengetahuan, waktu, dan dukungan yang diberikan oleh Achmad Widodo dan M.S.K Tony Suryo Utomo dari Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, atas saran dan dukungannya selama penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] Martel, J.-L., Brissette, F. P., Lucas-Picher, P., Troin, M., and Arsenault, R., "Climate Change and Rainfall Intensity–Duration–Frequency Curves: Overview of Science and Guidelines for Adaptation," *J. Hydrol. Eng.*, vol. 26, no. 10, pp. 1–18, 2021, doi: 10.1061/(asce)he.1943-5584.0002122.
- [2] May, R. W. P. and Escarameia, M., "Performance of Siphonic Drainage Systems for Roof Gutters," HR Wallingford Ltd, Oxon, 1996.
- [3] Arthur, S. and Wright, G. B., "Recent and future advances in roof drainage design and performance," *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 26, no. 4, pp. 337–348, 2005, doi: 10.1191/0143624405bt127tn.
- [4] Lucke, T. and Beecham, S., "Aeration and gutter water levels in siphonic roof drainage systems," *Build. Res. Inf.*, vol. 38, no. 6, pp. 670–685, 2010, doi: 10.1080/09613218.2010.503050.
- [5] May, R. W. P., "The Design of Conventional and Siphonic Roof Drainage Systems," *Water Environ. J.*, 1997, doi: 10.1111/j.1747-6593.1997.tb00088.x.
- [6] Wright, G. B., Swaffield, J. A., and Arthur, S., "the performance characteristics of multi-outlet siphonic roof drainage systems," *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 3, pp. 1–16, 2002, doi: 10.1061/40644(2002)48.
- [7] May, R. W. P., "Manual for the Design of Roof Drainage Systems: A guide to the use of European standard BS EN 12056-3:2000," HR Wallingford Ltd., Oxon, UK, 2003.
- [8] British Standards, "Gravity Drainage System Inside Building," BS EN 12056-3, 2000
- [9] Badan Standardisasi Nasional, "SNI-8153-2015 Tentang Sistem Plambing Pada Bangunan Gedung," *Indonseia*, 2015,
- [10] Escarameia, M. and May, R. W. P., *Performance of Flat Roof Outlets*. HR Wallingford Group Ltd., 1996.
- [11] ASPE Research Fondation, "Storm Drainage System Research Project," 2012
- [12] American Society of Mechanical Engineer "ASME A112.6.9-2005, Siphonic Roof Drains Siphonic Roof Drains," 2005