Indonesian Journal of Civil Engineering Study
Universitas Semarang
E-ISSN: 3110-0376
Journal homepage: https://journals.usm.ac.id/index.php/ijces

Analisa Efektivitas Pipa Resapan Horizontal Terhadap Zero Delta Q di Kampus Universitas Semarang

Aristiyanto [a]*, Fairuz Daffa Nur Shidiq [b], Edy Susilo [c], Diah Setyati Budiningrum [d]
[a, b,c,d] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Semarang, Jl. Soekarno-Hatta, Tlogosari, Semarang
**Corresponding author, e*mail: aristiyanto77234@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:
Received December 05, 2025
Revised January 20, 2026
Accepted July 07, 2026
Available October 15, 2026

Keywords:
Horizontal Infiltration Pipe
Zero Delta Q
Runoff Discharge
Water Conservation
Infiltration

ABSTRACT

Increased construction of buildings and infrastructure in the Semarang University campus environment has led to an increase in the area of impervious land, resulting in a significant increase in rainwater runoff. This study aims to analyze the effectiveness of the Horizontal Infiltration Pipe (HIP) system in reducing the delta Q value and assessing its ability to achieve Zero Delta Q conditions, where all rainwater can be absorbed back into the ground without causing runoff. The research method was carried out by calculating and comparing runoff discharge before and after construction and analyzing infiltration discharge through the PRH system. The analysis results showed that in the second year, the effectiveness of PRH only reached 36.2%, indicating that the system was not yet optimal in absorbing water. After modifications were made in the form of adjusting the size of the outlet holes and equalizing the flow distribution from 22 gutter points, the effectiveness of the system increased significantly with a ΔQ value of 101%. This value indicates that all rainwater has been successfully infiltrated into the ground and the PRH system has achieved and even exceeded the Zero Delta Q condition. Thus, the application of PRH has proven to be effective as a solution for water conservation and runoff control on campus.

© 2026 IJCES. Publishing Services by Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Semarang.

1. Pendahuluan

Perkembangan pesat pembangunan infrastruktur di kawasan perkotaan, termasuk di lingkungan kampus, telah menyebabkan berkurangnya daerah resapan air akibat peningkatan luas lahan terbangun dan permukaan kedap air. Hal ini berdampak langsung terhadap siklus hidrologi alami, di mana air hujan yang seharusnya meresap ke dalam tanah berubah menjadi limpasan permukaan (*run-off)* yang meningkat signifikan (Herwindo & Bumi, 2023). Salah satu indikator yang digunakan untuk mengukur perubahan ini adalah nilai delta Q, yaitu selisih antara debit limpasan sebelum dan sesudah pembangunan. Semakin besar nilai delta Q, semakin besar pula potensi terjadinya genangan dan banjir lokal. Menurut (C.D. Soemarto, 1955), peningkatan luas lahan kedap air tanpa disertai sistem drainase yang memadai dapat meningkatkan limpasan hingga dua kali lipat dibandingkan kondisi alami.

Universitas Semarang sebagai institusi pendidikan yang berkembang pesat turut menghadapi tantangan serupa. Peningkatan fasilitas fisik seperti gedung perkuliahan, jalan, dan area parkir berkontribusi terhadap penurunan kemampuan tanah dalam meresapkan air hujan. Perlu diterapkan sistem pengelolaan air hujan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan guna menjaga keseimbangan hidrologis serta menghindari kerusakan lingkungan di masa depan.

This is an open acces article under the CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Salah satu teknologi konservasi air yang mulai banyak diterapkan adalah pipa resapan horizontal, yang berfungsi untuk menampung air hujan dan meresapkannya ke dalam tanah secara perlahan. Teknologi ini merupakan bagian dari pendekatan *Low Impact Development* (LID) yang bertujuan untuk meniru kondisi aliran alami dan mengurangi dampak negatif pembangunan terhadap lingkungan (Wibowo et al., 2023). Menurut (Widyastuti, 2019), penerapan sistem resapan horizontal mampu menurunkan volume limpasan permukaan hingga 60–80% tergantung pada kapasitas dan karakteristik tanah.

Dengan adanya pipa resapan horizontal, diharapkan debit limpasan permukaan setelah pembangunan tidak meningkat secara signifikan, atau bahkan dapat ditekan hingga mencapai kondisi zero delta Q, yakni kondisi di mana tidak terjadi peningkatan debit limpasan dibandingkan dengan sebelum pembangunan (Kholifah et al., 2022; Susilo et al., 2023). Meskipun demikian, efektivitas penerapan sistem ini masih perlu dibuktikan melalui penelitian empiris, khususnya di kawasan kampus Universitas Semarang.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas pipa resapan horizontal dalam menurunkan nilai delta Q dan menilai sejauh mana sistem ini mampu berkontribusi terhadap pengendalian limpasan air hujan di lingkungan kampus. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam perencanaan sistem drainase kampus yang lebih berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan lingkungan. Berdasarkan fenomena yang terjadi, maka tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui besar peningkatan debit akibat pembangunan gedung Kampus Universitas Semarang, menganalisa besar efektivitas pipa resapan horizontal yang telah dipasang untuk mencapai prinsip *Zero Delta* Q dan memodifikasi PRH agar mencapai *Zero Delta* Q.

2. Tinjauan Pustaka

Pipa resapan horizontal sangat cocok diterapkan pada daerah yang memiliki lapisan impermeabel atau muka air tanah yang relatif dangkal, di mana sumur resapan vertikal kurang efektif. Sementara itu, dari sisi kedalaman pemasangan menurut Susilo (2020) menyebutkan bahwa pipa resapan horizontal umumnya dipasang pada kedalaman maksimal dua meter di atas permukaan tanah, agar tetap berada di atas muka air tanah saat musim hujan dan memungkinkan proses infiltrasi berlangsung secara optimal. Perhitungan pipa resapan untuk pipa di bawah muka air tanah menggunakan persamaan (1) (Susilo, 2020).

$$Q = 110{,}99\ K^{1{,}2896} \times P^{0{,}121} \times D^{2{,}038} \times L^{0{,}718} \times H^{1{,}626} \quad (1)$$

Keterangan:

Q = Debit air masuk (cm^3/dt)
K = Permeabilitas tanah (cm/dt)
P = Porositas dinding pipa
D = Diameter pipa (cm)
L = Panjang pipa (cm)
H = Tekanan air (cm)

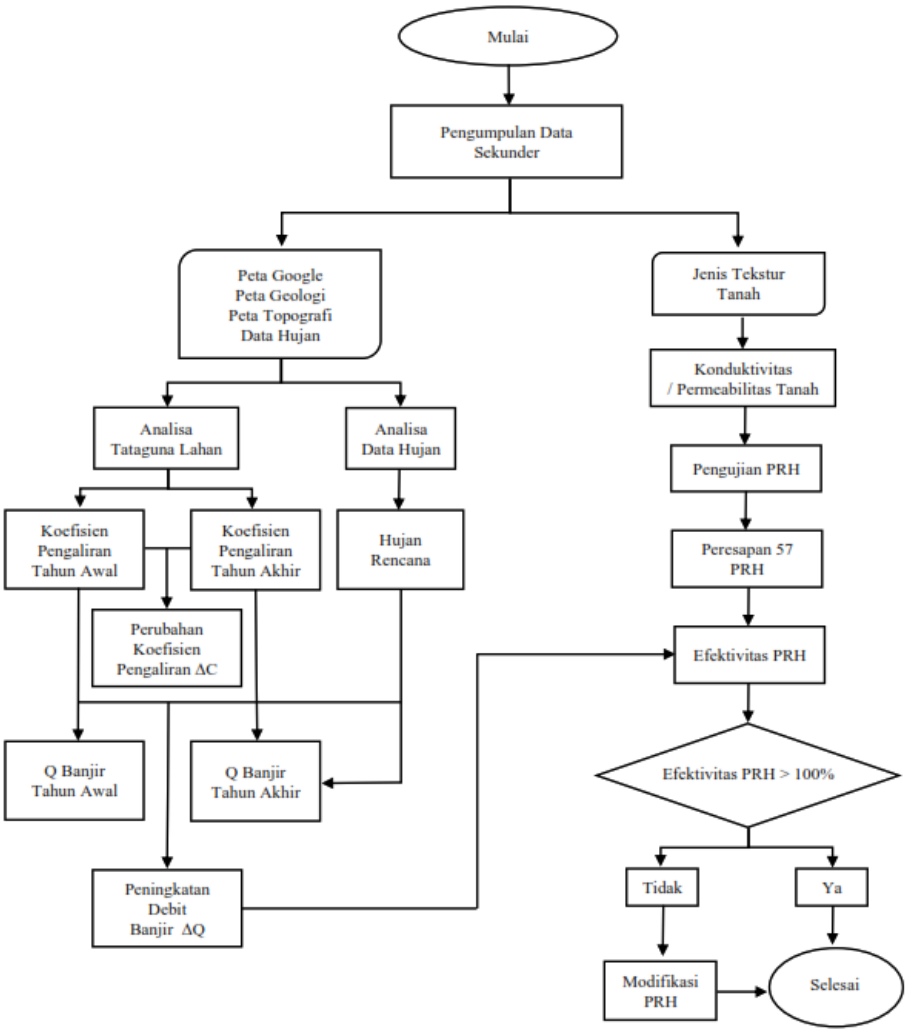
Prinsip *Zero Delta* Q adalah sebuah pendekatan dalam pengelolaan air hujan yang menekankan bahwa tidak boleh terjadi peningkatan debit air limpasan (*runoff*) dari suatu kawasan setelah mengalami pembangunan atau perubahan tata guna lahan (Sunjoto, 2008). Artinya, jumlah air hujan yang mengalir keluar dari suatu kawasan setelah dibangun harus sama dengan kondisi saat lahan tersebut masih dalam keadaan alami atau belum terbangun. Tujuannya adalah agar pembangunan tidak menyebabkan gangguan terhadap keseimbangan siklus hidrologi, khususnya dalam hal peresapan, aliran permukaan, dan potensi banjir.

Kebijakan prinsip *Zero Delta* Q muncul dalam Peraturan Pemerintah No 26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional yang diterbitkan tanggal 10 Maret 2008. Yakni, keharusan agar tiap bangunan tidak boleh mengakibatkan bertambahnya debit air ke sistem saluran drainase atau sistem aliran

sungai. Beberapa teknik atau metode yang dapat digunakan untuk menerapkan prinsip *zero delta Q policy* ini, antara lain areal resapan air hujan, lubang resapan biopori, modifikasi lanskap, penampungan air hujan, rain garden, sumur injeksi, dan sumur resapan (Yanti, 2022). Prinsip *Zero Delta* Q merupakan landasan penting dalam pengembangan wilayah yang berkelanjutan. Dengan tidak menambah debit limpasan air hujan dari kawasan yang dibangun, kita dapat mencegah banjir, menjaga lingkungan, dan memastikan keseimbangan siklus hidrologi tetap terjaga. Penerapan prinsip ini membutuhkan dukungan kebijakan pemerintah, kesadaran masyarakat, serta komitmen dari para pengembang.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan peralatan yang digunakan meliputi pipa resapan horizontal, air tangki sebagai sumber air uji, pompa air, meteran digital dan manual untuk pengukuran, kamera/HP untuk dokumentasi, *styrofoam* dan benang sebagai alat bantu pengukuran muka air, tripod, linggis untuk penggalian, serta *stopwatch* untuk mencatat waktu penurunan muka air. Gambar diagram alir penelitian tersaji pada Gambar 1.



(Sumber: Penulis, 2025)
Gambar 1. *Flow Chart*

Tahapan Penelitian

a) Pengumpulan Data

Studi literatur untuk memperkuat dasar teoritis melalui referensi buku dan jurnal ilmiah yang relevan dengan topik pipa resapan horizontal dan prinsip *Zero Delta* Q. Studi lapangan sebagai pengumpulan data

primer melalui uji langsung di lokasi penelitian untuk memperoleh nilai permeabilitas tanah dan laju infiltrasi aktual.

b) Pengujian Efektivitas Pipa Resapan Horizontal

Pengujian dilakukan dengan cara mengisi pipa resapan menggunakan air hingga kondisi stabil. Setelah permukaan air konstan, stopwatch dinyalakan dan penurunan muka air diukur menggunakan meteran digital dalam interval waktu tertentu. Penurunan muka air (ΔH) dicatat hingga laju penurunan melambat, menandakan resapan telah mencapai kondisi steady. Pengujian diulang pada setiap lokasi untuk mendapatkan data pembanding antar titik. Tujuan utama tahap ini adalah menentukan efektivitas sistem pipa dalam mempercepat infiltrasi dan menilai sejauh mana sistem mendukung pencapaian prinsip *Zero Delta* Q.

c) Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis untuk menghitung debit resapan aktual menggunakan persamaan empiris resapan pipa horizontal (Gumilar et al., 2013). Hasil perhitungan dibandingkan dengan debit limpasan aktual untuk menentukan tingkat efektivitas sistem dan menentukan apakah kondisi *Zero Delta* Q telah tercapai.

Penelitian sumur resapan dilakukan di lingkungan Universitas Semarang, Kelurahan Tlogosari Kulon, Kecamatan Pedurungan, Kota Semarang. Penelitian ini dimulai pada tanggal 7 Juni 2025 hingga 10 Juni 2025. Total pipa resapan berjumlah 4 pipa horisontal dengan diameter pipa 15 cm, lubang pada pipa resapan berukuran diameter 1,5 cm, dan jarak antar lubang pada pipa resapan 5 cm. Panjang masing-masing pipa yang diteliti adalah 3,0 meter.

4. Analisa Dan Pembahasan Hasil Penelitian

Analisa Data Curah Hujan

Nilai curah hujan maksimum stasiun hujan tersebut dari tahun 2001 sampai dengan tahun 2023, dan kemudian diurutkan dalam bentuk tabel untuk memudahkan pambacaan. Hasil analisa kemudian diolah dan diuji releabilitasnya (keandalannya) dengan beberapa metode pengujian diantaranya adalah uji validitas, uji parameter statistik, uji distribusi curah hujan. Setelah melewati pengujian tersebut data yang diperoleh baru dapat digunakan sebagai dasar analisa lanjutan. Data untuk penentuan hujan rancangan pada kajian ini adalah data curah hujan curah hujan harian dari stasiun curah hujan yang ada selama 23 tahun pada SCH Karangroto. Hasil rekap hujan dari pengujian tersebut tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekap Hujan Rencana

No	Kala Ulang	Hujan Rancangan (mm)
1	1	57.00
2	2	126.35
3	5	151.44
4	10	164.55

(Sumber: Penulis, 2025)

Data curah hujan yang digunakan dalam analisis berdasarkan Tabel 1 adalah kala ulang 2 tahun sebesar 126.35 mm.

Analisa Debit Banjir Rancangan

Analisis ini bertujuan untuk merencanakan bangunan air (seperti bendung, waduk, jembatan, saluran drainase, dan tanggul) agar dapat menampung dan mengendalikan banjir sehingga tidak menimbulkan kerugian. Apabila tersedia data pencatatan hujan otomatis (*Automatic Rainfall Recorder, ARR*) maka pola

distribusi hujan jam-jaman dapat dibuat dengan menggunakan metode kurva massa untuk setiap kejadian hujan lebat dengan menggunakan waktu kejadian. Hasil distribusi hujan SCH Karangroto tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Hujan per Jam SCH Karangroto

Jam ke-	Distribusi	Periode 2th (mm)
0.00	0%	0.00
1.00	26%	32.85
2.00	72%	90.97
3.00	2%	2.53
	100%	126.35

(Sumber: Penulis, 2025)

Analisis Banjir

Metode perhitungan analisis banjir dapat diperkirakan dengan Metode Rasional menggunakan persamaan (2).

$$Q_T = \frac{Ci_T A}{3,6} \quad (2)$$

Dengan:

Q_T = debit puncak banjir untuk periode ulang T tahun (m^3/det)
C = koefisien *run off* total
i_T = besar hujan untuk periode ulang T tahun (mm/jam)
A = luas daerah tadah hujan (km^2)

Hasil perhitungan debit banjir sebelum pembangunan Universitas Semarang pada tahun 1995 dengan persamaan 2 sebesar 0,102 m^3/det di periode ulang tahun ke-1 dan 0,226 m^3/det di periode ulang tahun ke-2. Akibat pembangunan Universitas Semarang, debit banjir mengalami peningkatan di tahun 2024 pada periode ulang tahun ke-1 sebesar 0,410 m^3/det. Pada periode tahun ulang ke-2 di tahun 2024 didapatkan besaran debit banjir sebesar 0,910 m^3/det. Peningkatan debit banjir yang terjadi lebih dari 100%, yaitu 302%. Hal ini menunjukan butuh adanya penanganan debit banjir untuk area Universitas Semarang, salah satunya adalah dengan pemasangan pipa resapan horizontal. B

Kebutuhan Jumlah Pipa Resapan Horizontal (PRH)

Perhitungan kebutuhan jumlah pipa resapan horizontal menggunakan persamaan 1. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Debit Resapan untuk Beberapa Diameter Pipa, dengan panjang 4m dan tinggi tekan air 1.5m

No	Permeabilitas K (cm/dt)		Debit Resapan (cm^3/dt) untuk Diameter Pipa D (cm)		
			10	15	20
1	Universitas Semarang	0.00004	5,258	12,013	21,592

(*Sumber: Penulis, 2025)*

Dari hasil pengujian lapangan, didapatkan besar permeabilitas kawasan Universitas Semarang sebesar besar permeabilitas 0.00004.

Tabel 4. Kebutuhan PRH Kawasan Universitas Semarang

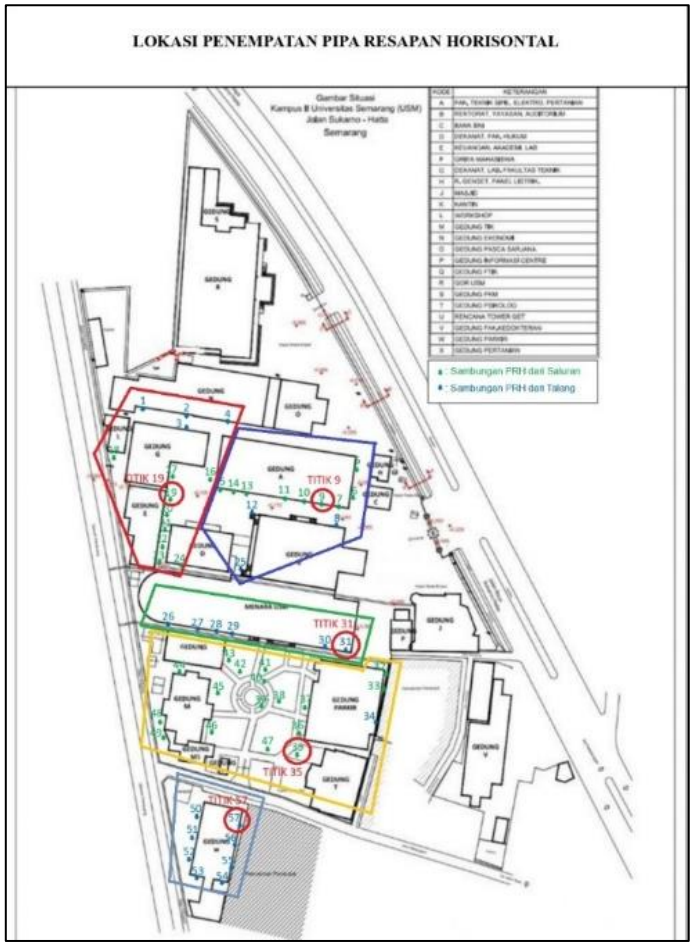
No	*Catchment Area*	Koefisien Pengaliran [C]		Luas CA	% Peningkatan Debit		Debit Resapan (lt/dt) untuk Diameter Pipa D (inch)			Kebutuhan PRH (unit)		
		1995	2024	km^2	m^3/dt	%	4	6	8	4	6	8
1	Universitas Semarang	0.15	0.59	0.031	0.684	303%	5.3	12.0	21.6	130	57	

(Sumber: Penulis, 2025)

Dari hasil analisa diperoleh kebutuhan Pipa Resapan Horizontal (PRH) untuk pengendalian Zero Delta Q di Kawasan Universitas Semarang adalah sebanyak 57 titik dengan sepesifikasi diameter pipa 6" panjang 4 m dan kedalaman 1.5 m.

Rencana Pemasangan Pipa Resapan Horizontal

Pada rencana pemasangan pipa resapan horizontal memperhatikan daerah yang dilarang oleh pemerintah Kota Semarang. Ada beberapa wilayah yang tidak diperbolehkan dipasang pipa resapan horizontal. Universitas Semarang tidak termasuk dalam wilayah yang dilarang. Sebelum pipa resapan horizontal dipasang, perlu adanya pengujian titik di beberapa lokasi. Lokasi tersebut teraji pada Gambar 2.



(Sumber: Penulis, 2025)

Gambar 2. Peta Lokasi Pengujian Titik Pipa Resapan Horizontal

Pemasangan pipa resapan horizontal dari saluran sebanyak 35 unit dan sambungan pipa resapan horizontal dari talang sebanyak 22 unit.

Debit Pipa Resapan Horizontal

Perhitungan debit pipa resapan horizontal bertujuan untuk mengetahui kapasitas resapan yang dimiliki sistem dalam meresapkan air hujan ke dalam tanah, sehingga dapat dievaluasi efektivitasnya dalam mengurangi limpasan permukaan dan mencegah terjadinya genangan maupun banjir lokal. Hasil perhitungan ini juga digunakan untuk memastikan bahwa prinsip *Zero Delta* Q dapat tercapai, yaitu kondisi dimana debit limpasan setelah pembangunan tidak melebihi kondisi sebelum adanya pembangunan. Hasil pengukuran ΔH ini penting karena bisa memberikan gambaran nyata tentang kinerja pipa. Kalau penurunan airnya cepat, artinya tanah di sekitar pipa memiliki kemampuan resapan yang baik, sehingga air bisa langsung masuk ke dalam tanah. Sebaliknya, kalau penurunannya lambat, berarti proses resapannya kurang maksimal. Hal ini bisa disebabkan oleh kondisi tanah yang kurang menyerap, atau mungkin juga karena desain pipa yang kurang tepat. Perhitungan debit penampang pipa PRH (cm^3/dt) menggunakan persamaan (3):

$$Q = \frac{\Delta H \times A}{5\ dt} \quad (3)$$

Dengan :

Q = Debit resapan pipa (cm^3/detik)
ΔH = Penurunan tinggi muka air (cm)
A = Luas penampang pipa resapan (cm^2)
dt = Selang waktu pengukuran (detik)

Ada 5 tipe PRH yang direncanakan berdasarkan titiknya, yaitu PRH titik 19, PRH titik 9, PRH titik 31, PRH titik 35, dan PRH titik 57. Perhitungan debit penampang pipa PRH (cm^3/dt) menggunakan persamaan (3), maka contoh perhitungan luas penampang dan debit penampang PRH 19 sebagai berikut:

A = 0,25 x 3,14 x 15 x 15 = 176, 625 cm^2
Δ H1 = 1375 – 857 = 518 mm = 51,8 cm
Δ H2 = 1365– 855 = 510mm = 51 cm
Δ H3 = 1377– 864 = 513mm = 51,3 cm

$$Q1 = \frac{51{,}8 \times 176{,}625}{5\ dt} = 1829{,}84\ cm^3/dt$$
$$Q2 = \frac{51 \times 176{,}625}{5\ dt} = 1801{,}575\ cm^3/dt$$
$$Q3 = \frac{51{,}3 \times 176{,}625}{5\ dt} = 1812{,}172\ cm^3/dt$$
$$Q\ rata-rata = \frac{Q1 + Q2 + Q3}{3} = \frac{1829{,}84 + 1801{,}575 + 1812{,}172}{3} = 1814{,}53\ cm^3/dt$$

Hasil perhitungan debit semua titik tersaji pada Tabel 5.

Tabel 5. Debit Pipa Resapan Horizontal

Jenis PRH	Luas Penampang PRH (cm^2)	ΔH1 (cm)	ΔH2 (cm)	ΔH3 (cm)	Q1 (cm^3/dt)	Q2 (cm^3/dt)	Q3 (cm^3/dt)	Qrata-rata (cm^3/dt)
PRH 19	176, 625	51,8	51	51,3	1829,84	1801,575	1812,172	1814,53
PRH 9	176, 625	51,2	47,7	45	1843,96	1745,055	1681,47	1756,83
PRH 31	176, 625	52,2	49,4	47,6	1843,96	1745,055	1681,47	1756,83
PRH 35	176, 625	54,3	52,7	53,2	1918,15	1861,627	1879,29	1886,35
PRH 57	176, 625	55	55	55	20000	20000	20000	20000

(Sumber: Penulis, 2025)

Berdasarkan tabel 5 didapatkan jumlah debit masing-masing PRH, kemudian dikalikan dengan jumlah PRH yang akan dipasang. Hasil perhitungan debit PRH keseluruhan adalah:

Titik 19	= 1814,53 x 14	= 25.403,42 cm3 /dt
Titik 9	= 1694,421 x 11	= 18.638,631 cm3 /dt
Titik 31	= 1756,83 x 6	= 10.540,98 cm3 /dt
Titik 35	= 1886,355 x 18	= 33.954,402 cm3 /dt
Titik 57	= 20.000 x 8	= 160.000 cm3 /dt
Q Total	= 25.403,42+18.638,631+10.540,98+33.954,402+160.000 = 248.537,433 cm3 /dt	

Hasil perhitungan dari seluruh titik menunjukkan bahwa total debit pipa resapan horizontal adalah 248,537,433 cm³/detik sama dengan 0,248 m³/detik.

Efektivitas Pipa Resapan Horizontal Tahun ke 2 (QT2)

Perhitungan efektivitas pipa resapan horizontal QT2 menggunakan persamaan (4):

$$\text{Efektivitas PRH} = \frac{\text{Q PRH}}{\text{QT } 2tahun} \text{x } 100\% \quad (4)$$

maka hasil perhitungan efektifitas PRH adalah:

$$\text{Efektivitas PRH} = \frac{0{,}248}{0{,}684} \text{x } 100\% = \ 36{,}2\ \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, efektivitas pipa resapan horizontal (PRH) pada tahun ke-2 diperoleh sebesar 36,2%**.** Nilai ini menunjukkan bahwa sistem PRH belum memenuhi kondisi *zero delta Q*, tambahan air limpasan akibat pembangunan Gedung USM belum 100% diresapkan oleh Pipa Resapan Horizontal. Dengan demikian, efektivitas pipa resapan horizontal pada periode ulang ulang 2 tahun belum mencapai nilai 100%**,** menandakan bahwa kemampuan sistem dalam meresapkan air masih terbatas dan perlu dilakukan modifikasi. Rendahnya nilai efektivitas ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti tekanan air dalam pipa yang belum optimal**,** permeabilitas tanah yang rendah. Masih ada sekitar 0,06 m³/det debit air yang masih harus diresapkan agar kondisi *Zero Delta Q* tercapai.

Peresapan Tiap Talang :

Direncanakan pererasapan debit air menggunakan 22 titik talang, sehingga debit air yang tiap talang adalah:

$$\text{Q2} = \frac{0{,}06}{22\ titik\ talang} = \ 0{,}002727\ \text{m}^3/\text{detik}\ = 2.727\ \text{cm}^3/\text{detik}$$

Perhitungan debit tambahan (Q_2) menunjukkan bahwa terdapat kebutuhan resapan tambahan sebesar 0,002727 m³/detik atau 2.727 cm³/detik agar sistem pipa resapan horizontal (PRH) dapat mencapai kondisi zero delta Q, yaitu keseimbangan antara debit masuk dan debit yang berhasil diresapkan. Nilai tersebut dihitung berdasarkan pembagian debit sisa sebesar 0,115 m³/detik terhadap jumlah 22 titik talang yang berfungsi sebagai saluran masuk air hujan menuju sistem PRH. Dengan optimalisasi dari 22 titik talang tersebut, maka proses peresapan air hujan ke dalam tanah melalui pipa resapan horizontal diharapkan dapat meningkat, sehingga target *zero delta Q* dapat tercapai secara efisien dan sistem mampu bekerja secara berkelanjutan dalam mengendalikan limpasan permukaan. Kemampuan resapan talang diukur berdasarkan besarnya tekanan air yang berada pada pipa. Perhitungan tekanan air (h) menggunakan persamaan (1), sehingga diperoleh nilai tinggi tekanan air (h) = 3491,4 cm atau 34,91 m. Nilai ini menggambarkan tekanan air dalam sistem pipa yang bekerja pada pipa resapan. Semakin besar tinggi tekanan air, semakin besar pula kemampuan resapan ke dalam tanah melebihi ambang batas.

Perhitungan Luas Lubang pada PRH

Perhitungan debit air dari atap dilakukan untuk menentukan apakah diperlukan lubang pembuangan (*outlet*) pada dop pipa resapan horizontal atau tidak. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus hidrologi pada persamaan (5).

$$Q = C \times I \times A\frac{1}{2}atap \quad (5)$$

dengan:

Q = Debit air dari atap (cm³/detik)
C = Koefisien pengaliran (diambil 1 untuk atap kedap air)
I = Intensitas hujan rencana (mm/jam)
Aatap = Luas area atap (m²)
Maka:

$$Q = \frac{1 \times 57\ mm/jam \times 1117{,}95\ m^2}{6} = 2952{,}5\ cm^3/det$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit air dari atap sebesar 2952,5 cm³/detik, sedangkan batas debit maksimum sebelum *outlet* perlu dibuat adalah 2.727 cm³/detik. Artinya, debit air yang mengalir dari permukaan atap lebih besar daripada kapasitas maksimum yang dapat ditampung oleh sistem pipa resapan horizontal tanpa terjadi limpasan keluar. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem belum mampu menahan seluruh debit air yang masuk, sehingga sebagian debit perlu dibuang atau dialirkan keluar melalui lubang *outlet* (dop). Sebaliknya, apabila hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit air dari atap lebih kecil dari 2.727 cm³/detik, maka kondisi tersebut dinyatakan sebagai: Q < 2.727. Pada kondisi ini, debit air yang masuk masih dapat sepenuhnya diresapkan oleh sistem pipa resapan horizontal, sehingga tidak diperlukan pembuangan debit keluar. Dengan kata lain, *outlet* (dop) dapat ditutup karena sistem telah mampu meresapkan seluruh air hujan yang masuk ke dalam tanah tanpa limpasan.

Perhitungan Debit Air yang dibuang Melalui Lubang *Outlet*

Setelah diketahui bahwa debit air dari atap (Q atap) lebih besar dari batas maksimum debit yang dapat ditampung sistem PRH (Q maksimum = 2.727 cm³/detik), maka sebagian debit air harus dibuang melalui lubang outlet dop agar tekanan air di dalam pipa tetap seimbang dan sistem tetap bekerja optimal. Untuk menentukan luas lubang dop (a) yang diperlukan, digunakan rumus hidrolika aliran melalui lubang dengan persamaan (6).

$$\Delta Q = Cd \times a \times n \sqrt{(2gH)} \quad (6)$$

Keterangan:

Q = Debit air yang harus dibuang (cm³/detik)
Cd = Koefisien debit (biasanya antara 0,60 – 0,65; diambil rata-rata 0,62)
a = Luas lubang dop (cm²) (0,25 x 3,14 x 1² = 0,785 cm²)
g = Percepatan gravitasi (980 cm/det²)
n = Jumlah lubang
h = Tekanan air di dalam pipa (cm)

Dari hasil analisa sebelumnya diketahui:

Qbuang = Qatap – Qmaksimum = 2.952,5−2.727 = 225,5 cm³/detik

Tinggi tekanan air rata-rata dalam pipa hasil pengujian lapangan sebesar h=185,53 cm, maka dengan persamaan (6) didapatkan nilai n sebesar 0,177. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai n = 0,177 menunjukkan jumlah lubang *outlet* (dop) yang diperlukan untuk mengalirkan kelebihan debit air sebesar 225,5 cm³/detik agar tekanan air di dalam pipa tetap seimbang. Nilai n ini menggambarkan rasio kebutuhan jumlah lubang terhadap debit air yang harus dibuang berdasarkan parameter hidrolika yang telah digunakan, yaitu koefisien debit, luas lubang, percepatan gravitasi, dan tinggi tekanan air. Karena nilai n = 0,177 < 1, maka secara fisik dapat diartikan bahwa satu lubang dengan ukuran diameter 1 cm sudah cukup untuk mengalirkan debit kelebihan air tersebut, tanpa perlu menambah jumlah lubang dop baru. Nilai ini juga menunjukkan bahwa pembuangan debit yang terjadi tergolong kecil, sehingga sistem pipa resapan horizontal masih bekerja secara efektif dengan hanya sedikit pembuangan air ke luar sistem.

Perhitungan Debit Air dari Seluruh Talang (Qtalang)

Untuk mengetahui besarnya debit air yang masuk ke sistem pipa resapan horizontal, terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap debit air dari seluruh talang yang ada di area penelitian. Setiap titik talang memiliki debit tertentu yang kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan total debit air yang dialirkan menuju sistem resapan (Afriyanto, 2017; Yuwono et al., 2016). Perhitungannya dapat dilihat sebagai berikut:

$$Q_{talang} = 2962{,}5 \times 22 \text{ talang} = 64955 \text{ cm}^3/\text{detik} = 0{,}065 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh total debit air dari 22 titik talang sebesar 0,065 m³/detik. Nilai ini menunjukkan volume air hujan yang mengalir ke sistem pipa resapan horizontal setiap detik. Data tersebut menjadi dasar untuk menganalisis kemampuan pipa resapan dalam menampung dan meresapkan air ke dalam tanah serta menentukan kebutuhan desain dan kapasitas sistem agar tidak terjadi limpasan berlebih.

Perhitungan Debit Air yang Diresapkan (Qresapan)

Perhitungan terhadap debit air yang berasal dari pipa resapan dan debit tambahan yang masuk melalui saluran talang (Al-Hameedawi & Shihab, 2021; Radchuk, 2024). Kedua komponen ini kemudian dijumlahkan untuk memperoleh nilai total Qresapan.

$$Q_{resapan} = Q \text{ PRH} + Q_{talang} = 0{,}248 + 0{,}064 = 0{,}312 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dari hasil perhitungan di atas diperoleh total debit air yang berhasil diresapkan sebesar 0,312 m³/detik. Nilai ini menunjukkan kemampuan sistem pipa resapan horizontal beserta tambahan debit dari 22 titik talang dalam meresapkan air hujan ke dalam tanah. Hasil tersebut menjadi dasar untuk menganalisis tingkat efektivitas sistem PRH dalam mengurangi limpasan permukaan dan mendukung pencapaian kondisi *Zero Delta Q* di area penelitian.

Hasil Analisa Efektivitas Pipa Resapan Horizontal Terhadap Zero Delta Q

Perbandingan ini dinyatakan dalam bentuk persentase perubahan debit air (ΔQ) yang menunjukkan seberapa besar kemampuan sistem pipa resapan dalam mengurangi volume limpasan permukaan.

$$\Delta Q = \frac{\text{Qresapan}}{\text{Q T} = 1\text{tahun}} = \frac{0{,}312}{0{,}308} = 101\%$$

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai perubahan debit air (ΔQ) sebesar 101%**,** yang berarti sistem pipa resapan horizontal (PRH) telah mampu meresapkan air hujan dengan sangat baik**,** bahkan sedikit melebihi total debit limpasan yang terjadi selama periode satu tahun. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem PRH telah mencapai kondisi mendekati bahkan melampaui target zero delta Q (100%)**,** yaitu kondisi dimana seluruh debit air hujan yang jatuh di kawasan dapat diserap kembali ke dalam tanah tanpa menimbulkan limpasan permukaan. Dengan capaian ΔQ sebesar 101%, dapat disimpulkan bahwa efektivitas sistem pipa resapan horizontal dalam menurunkan debit limpasan mencapai tingkat optimal. Seluruh air hujan yang tertampung dari permukaan atap dan area sekitarnya mampu diresapkan ke dalam tanah melalui pipa-pipa horizontal, sehingga tidak menimbulkan genangan maupun limpasan keluar dari sistem.

5. Kesimpulan

Analisis hidrologi menunjukkan peningkatan signifikan debit limpasan setelah pembangunan kawasan Kampus Universitas Semarang. Sebelum pembangunan (1995), debit limpasan 1 tahun sebesar 0,102 m³/detik meningkat menjadi 0,410 m³/detik pada 2024 (naik 302%), sedangkan periode ulang 2 tahun naik dari 0,226 m³/detik menjadi 0,910 m³/detik (naik 303%). Peningkatan ini disebabkan oleh bertambahnya lahan kedap air akibat pembangunan gedung, jalan, dan area parkir yang mengurangi area resapan alami. Perhitungan menunjukkan bahwa efektivitas Pipa Resapan Horizontal (PRH) masih rendah dan belum mencapai kondisi Zero Delta Q. Pada tahun ke-2, efektivitasnya hanya 36,2%, sehingga baru mampu meresapkan sekitar sepertiga dari total limpasan. Rendahnya efektivitas disebabkan oleh tekanan air dalam pipa yang belum optimal, rendahnya permeabilitas tanah, serta distribusi air hujan dari 22 titik talang yang tidak merata. Oleh karena itu, sistem PRH perlu dimodifikasi untuk meningkatkan tekanan dan pemerataan

aliran agar mendekati target resapan 100%. Setelah dilakukan modifikasi pada ukuran lubang dop outlet dan distribusi debit dari 22 titik talang, efektivitas sistem Pipa Resapan Horizontal (PRH) meningkat signifikan. Nilai perubahan debit air (ΔQ) mencapai 101%, menunjukkan bahwa sistem telah berfungsi optimal dan berhasil melampaui kondisi Zero Delta Q (100%). Seluruh air hujan dapat terserap kembali ke tanah tanpa menimbulkan limpasan permukaan. Desain modifikasi ini menjaga keseimbangan antara tekanan air dalam pipa dan debit keluar, sehingga sistem bekerja efisien, mendukung konservasi air tanah, dan mencegah genangan di kawasan kampus.

DAFTAR PUSTAKA

Afriyanto, A. (2017). Analisa Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Berbagai Macam Metode Pada Proyek Apartemen The Frontage Surabaya. *Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November*.

Agustawijaya, D. S. (2019). *Geologi Teknik* (1st ed.). Penerbit ANDI.

Al-Hameedawi, A., & Shihab, T. (2021). Irrigation canal assessment using geomatics techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1067*, 012020. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1067/1/012020.

Edy, S. (2020). Efektivitas Pipa Resapan Horizontal di Daerah Rawan Genangan. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, *10*(2), 123–132.

Gumilar, I., Abidin, H. Z., Sidiq, T. P., Andreas, H., Maiyudi, R., Gamal, M., & Fukuda, Y. (2013). Mapping and evaluating the impact of land subsidence In Semarang (Indonesia). *Indonesian Journal of Geospatial*, *2*(2), 26–41.

Herwindo, W., & Bumi, I. S. (2023). Analisis Resapan Limpasan Air Hujan Dalam Rangka Penerapan Zero Delta Q Di Politeknik PU. *Jurnal Teknik Hidraulik*, *14*(2), 95–104.

Kholifah, R. C., Aldhyantie, R., Susilo, E., & Budiningrum, D. S. (2022). Analisa Kebutuhan Pipa Resapan Horisontal dalam Mengimplementasikan Zero ΔQ Policy. *Jurnal Riptek*, *16*(1), 1–6.

Radchuk, O. (2024). Slope Stability Assessment of Tailings Dam. *Key Engineering Materials*, *1004*, 37–47.

Soemarto, C.D. (1955). *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga.

Sunjoto, S. (2008). *Sumur Resapan untuk Konservasi Air dan Pengendalian Banjir*. UGM Press.

Susilo, E., Budiningrum, D. S., & Kustirini, A. (2023). Realizing Zero Delta Q Due to the Change of Land-Use Using Horizontal Recharge Pipe. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1177*(1), 012008.

Wibowo, H. A., Pratikso, P., & Sumirin, S. (2023). Pengaruh sudut pemasangan nail terhadap stabilisasi lereng metode soil nailing di ruas Jalan Giriwoyo-Glonggong. *Teknika*, *Vol. 18*(1), 1–11.

Widyastuti, S. (2019). Efektivitas Pipa Resapan Horizontal dalam Menurunkan Limpasan Permukaan. *Jurnal Teknik Sipil Lingkungan*, *7*(2), 101–110.

Yanti, R.M.K., dkk. (2022). Optimalisasi Penerapan Kebijakan Zero Delta Q Policy dalam Skala Perumahan di Balikpapan. *Compact: Spatial Development Journal*, *Vol. 01*(1), 37-49.

Yuwono, B. D., Abidin, H. Z., Gumilar, I., Andreas, H., Awaluddin, M., Haqqi, K. F., & Khoirunisa, R. (2016). Preliminary survey and performance of land subsidence in North Semarang Demak. *AIP Conference Proceedings*, *1730*(1), 060004.