

***Reduksi Debit Run-Off Dengan Model Kombinasi Kotak Infiltrasi dan Sumur
Resapan Pada Sistem Drainase Jalan***

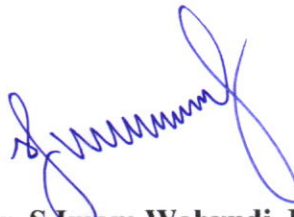


Oleh:

**Awliya Tribhuwana
10202100005**

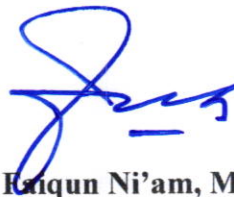
**Disetujui Untuk Diajukan dalam:
Sidang Terbuka Disertasi Hari/Tanggal: Jumat, 29 Agustus 2025**

Promotor



Prof. Dr. Ir. S Imam Wahyudi, DEA.

Ko – Promotor



Ir. Moh Enqun Ni'am, M.T., Ph.D.

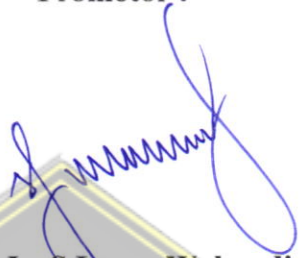
**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG, SEMARANG
2025**

LEMBAR PENGUJI

Sidang Terbuka

Hari : Jumat, 29 Agustus 2025

Promotor :



Prof. Dr. Ir. S Imam Wahyudi, DEA.

Ko-Promotor :



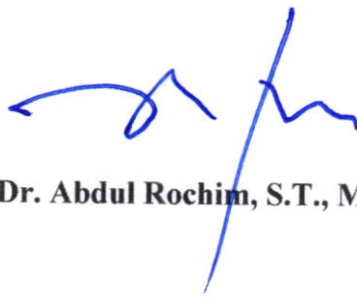
Ir. Moh Faizun Ni'am, M.T., Ph.D.

Penguji Eksternal :



Prof. Dr. Ir. Muhammad Mukhlisin, M.T.

Penguji Internal :



Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T.

Penguji Internal :



Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D.

Penguji Internal:



Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T.

Penguji Internal :



Prof. Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, S.T., M.T.

REDUKSI DEBIT RUN-OFF DENGAN MODEL KOMBINASI KOTAK INFILTRASI DAN SUMUR RESAPAN PADA SISTEM DRAINASE JALAN-awliya

by henni pratiwi



Submission date: 04-Sep-2025 10:26AM (UTC+0700)

Submission ID: 2741528984

File name: Reduksi_full_Tertutup_awliya.pdf (7.87M)

Word count: 59730

Character count: 337603

**REDUKSI DEBIT RUN-OFF DENGAN MODEL
KOMBINASI KOTAK INFILTRASI DAN SUMUR
RESAPAN PADA SISTEM DRAINASE JALAN**

15
DISERTASI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Mencapai Gelar Doktor



Awliya Tribhuwana
10202100005

PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2025



HALAMAN PENGESAHAN

**REDUKSI DEBIT RUN-OFF DENGAN MODEL KOMBINASI KOTAK
INFILTRASI DAN SUMUR RESAPAN PADA SISTEM
DRAINASE JALAN**



Oleh

Awliya Tribhuwana

10202100005

Disetujui Untuk Diajukan Sidang dalam :

Sidang Ujian Hari / Tanggal : Rabu, 13 Agustus 2025

Promotor

Prof. Dr. Ir. H. S Imam Wahyudi, DEA.

Ko-Promotor

Ir. Moh. Faiqun Ni'am, MT., Ph.D

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2025**

LEMBAR PENGUJI

SIDANG UJIAN DISERTASI

Hari : Rabu, 13 Agustus 2025

39

Promotor :

Prof. Dr. Ir. H. S Imam Wahyudi, DEA.

Ko-Promotor :

76

Ir. Moh. Faiqun Ni'am, MT., Ph.D

Ketua Penguji :

15

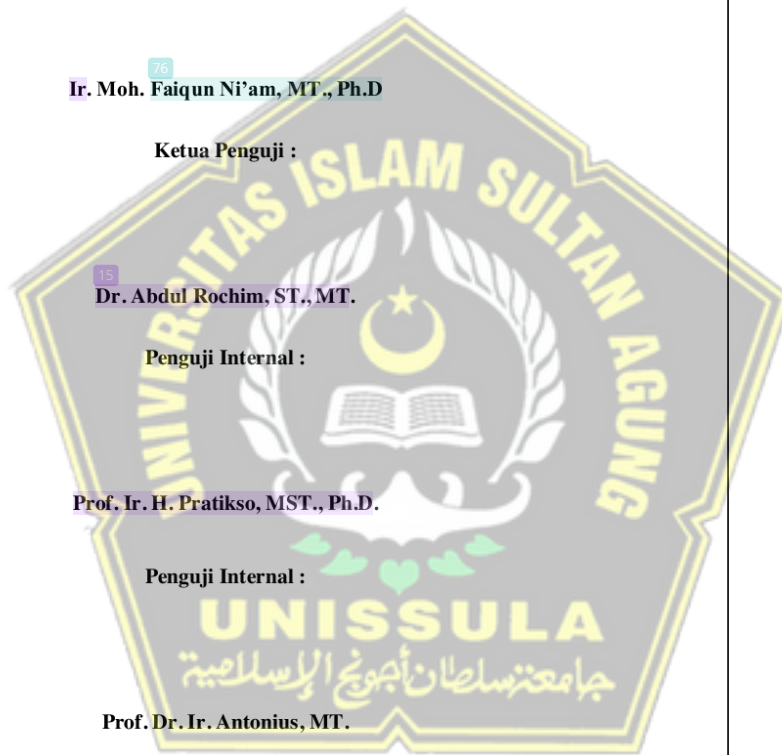
Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Penguji Internal :

Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D.

Penguji Internal :

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.



Penguji Internal :

Prof. Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, ST., MT.

Penguji Eksternal :

76

Prof. Dr. Ir. Muhammad Mukhlisin, MT.



MOTTO

Ali 'Imran · Ayat 110

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ
وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ
الْفَاسِقُونَ

Arab-Latin :

*Kuntum khaira ummatin ukhrijat lin-nâsi ta'murûna bil-ma'rûfî wa tan-hauna
'anil-mungkari wa tu'minûna billâh, walau âmana ahlul-kitâbi lakâna khairal
lahum, min-humul-mu'minûna wa akisaruhumul-fâsiqûn*

Terjemah Arti :

Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.

Persembahan

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan taufik, rahmat, dan hidayah-Nya yang tiada henti, sehingga disertasi ini dapat terselesaikan sebagai bagian dari ikhtiar keilmuan yang panjang.

Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, suri teladan sepanjang masa, yang membawa cahaya ilmu dan akhlak mulia bagi umat manusia.

57

Dengan penuh rasa hormat dan cinta, karya ini saya persembahkan kepada:

- Kedua orang tuaku tercinta, doa dan pengorbanannya menjadi cahaya penuntun dalam setiap langkah hidupku.
- Keluargaku tersayang, yang telah menjadi sumber kekuatan, kesabaran, dan semangat dalam perjalanan ini.
- Para Dosen Doktor Teknik Sipil Unissula dan Dosen Pembimbing yang telah membagikan ilmu, membuka wawasan, dan membimbing dengan tulus sepanjang proses ini.
- Semua sahabat seperjuangan dan pihak yang telah memberikan dukungan moril maupun akademik.

15

Semoga karya sederhana ini menjadi amal yang bermanfaat, berkah, dan menjadi bagian dari kontribusi kecil dalam khazanah ilmu pengetahuan.



ABSTRAK

Kota Cirebon menghadapi tantangan yang sangat besar dalam pengelolaan limpasan air hujan akibat pertumbuhan kawasan terbangun yang pesat, keterbatasan lahan terbuka, serta dominasi permukaan kedap air. Kombinasi topografi hampir datar, apabila curah hujan tinggi terjadi dan jenis tanah dominan berupa lanau lempung berporositas rendah menyebabkan banyak titik genangan di ruas jalan utama seperti Jalan Pemuda dan Dr. Cipto. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem infiltrasi alternatif melalui rancangan kotak infiltrasi di median jalan sebagai solusi dalam sistem drainase berkelanjutan. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium menggunakan flume skala model, dengan empat skenario uji: (1) kotak infiltrasi sederhana, (2) kotak di median jalan, (3) eksisting aliran median dan saluran tepi, dan (4) kombinasi kotak dan sumur resapan. Uji dilakukan pada kondisi tanah jenuh dan tidak jenuh, dengan pemantauan debit limpasan dan infiltrasi setiap 60 detik selama 2 jam. Model infiltrasi Horton dikalibrasi menggunakan parameter $f_0 = 0,01272$ m/jam, $f_c = 0,02492$ m/jam, dan $k = 3,24$. Hasil kalibrasi menunjukkan kinerja model sangat baik dengan nilai Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) = 0,923, Root Mean Square Error (RMSE) = 0,00525 m/jam, dan Relative Error (RE) = 4,32%. Validasi model menghasilkan NSE = 0,901, RMSE = 0,0061 m/jam, dan RE = 5,21%, yang menandakan generalisasi model terhadap data baru tetap tinggi. Uji variasi menunjukkan bahwa penggunaan kotak infiltrasi mampu menurunkan debit limpasan hingga 37,47%. Efisiensi meningkat ketika dikombinasikan dengan sumur resapan, mencapai reduksi limpasan sebesar 59,37% untuk sistem median dan 51,49% untuk sistem drainase. Sistem juga mampu menahan debit puncak dari 0,02705 L/detik menjadi 0,01280 L/detik, dengan efisiensi infiltrasi meningkat dari 28,36% menjadi 66,14%. Analisis korelasi menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan lempung dan kejenuhan tanah, semakin besar debit limpasan yang terbentuk. Efektivitas kotak infiltrasi dipengaruhi oleh posisi air tanah serta dimensi struktur. Rekomendasi teknis meliputi penggunaan media berpori tinggi seperti kerikil, volume minimal $\geq 0,05$ m³ per unit kotak, dan integrasi langsung antara kotak dan sumur resapan untuk mengalirkan air secara vertikal. Implikasi kebijakan menyarankan revisi standar drainase nasional, penerapan insentif infrastruktur hijau bagi pengembang, serta kewajiban desain jalan inklusif infiltrasi di kawasan rawan banjir. Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi sederhana seperti kotak infiltrasi dapat memberikan kontribusi besar terhadap strategi Low Impact Development (LID) di kota-kota tropis dengan lahan terbatas dan risiko genangan tinggi.

Kata Kunci: Kotak Infiltrasi, Sumur Resapan, Model Horton, Limpasan, Infiltrasi.

ABSTRACT

Cirebon City faces significant challenges in managing stormwater runoff due to rapid expansion of built-up areas, limited open spaces, and the dominance of impervious surfaces. The combination of nearly flat topography, high rainfall intensity, and dominant silty clay soil with low porosity contributes to frequent flooding in several main road sections, including Jalan Pemuda and Dr. Cipto. This study aims to develop an alternative infiltration system by designing infiltration boxes placed in road medians as a solution for sustainable urban drainage systems. The research was conducted experimentally using a laboratory-scale flume with four test scenarios: (1) basic infiltration box, (2) infiltration box in the road median, (3) existing flow in the median and side drains, and (4) a combination of infiltration box and recharge well. Tests were performed under saturated and unsaturated soil conditions, with runoff and infiltration flow monitored every 60 seconds for two hours. The Horton infiltration model was calibrated using parameters $f_0 = 0.01272$ m/h, $f_c = 0.02492$ m/h, and $k = 3.24$. The model demonstrated strong performance with Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) = 0.923, Root Mean Square Error (RMSE) = 0.00525 m/h, and Relative Error (RE) = 4.32%. Validation results also indicated high generalizability, with NSE = 0.901, RMSE = 0.0061 m/h, and RE = 5.21%. Variation testing showed that infiltration boxes reduced runoff by up to 37.47%. Efficiency improved further when combined with recharge wells, resulting in a runoff reduction of 59.37% in the median system and 51.49% in the drainage system. Peak discharge was reduced from 0.02705 L/s to 0.01280 L/s, while infiltration efficiency increased from 28.36% to 66.14%. Correlation analysis revealed that higher clay content and soil saturation led to greater runoff volumes. The effectiveness of infiltration boxes is influenced by groundwater depth and structural dimensions. Technical recommendations include using high-porosity materials such as gravel, a minimum volume of ≥ 0.05 m³ per unit box, and direct integration with recharge wells for vertical infiltration. Policy implications suggest revising national drainage standards, promoting incentives for green infrastructure, and mandating road designs with inclusive infiltration systems in flood-prone areas. This study demonstrates that simple technologies like infiltration boxes can significantly contribute to Low Impact Development (LID) strategies in tropical cities with limited space and high flood risks.

Keywords: Infiltration Box, Recharge Well, Horton Model, Runoff, Infiltration.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur atas rahmat Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Penelitian Disertasi ini dengan judul **“REDUKSI DEBIT RUN-OFF DENGAN MODEL KOMBINASI KOTAK INFILTRASI DAN SUMUR RESAPAN PADA SISTEM DRAINASE JALAN”**.

Penelitian Disertasi ini disusun dalam rangka memenuhi persyaratan dari kurikulum dan salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Doktor Teknik Sipil pada Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya, terutama kepada yang terhormat Bapak/Ibu:

1. Prof. Dr. Gunarto, S.H., M.H., selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.
2. Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung sekaligus sebagai penguji atas saran dalam penyempurnaan penelitian ini.
3. Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA, selaku Ketua Program Doktor Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, sekaligus sebagai Promotor dan Penguji atas bimbingan, dukungan serta motivasi dan kesabarannya dalam membantu penulis menyelesaikan penelitian ini.
4. Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph. D, selaku Sekretaris Program Doktor Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung sekaligus sebagai penguji atas saran dan bimbingannya dalam penyempurnaan penelitian ini.
5. Ir. Moh. Faiqun Ni'am, MT., Ph.D, sebagai Ko-Promotor dan Penguji atas bimbingan, dukungan serta motivasi dan kesabarannya dalam membantu penulis menyelesaikan penelitian ini.
6. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT, sebagai penguji atas saran dan bimbingannya dalam penyempurnaan penelitian ini.
7. Prof. Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, ST., MT, sebagai penguji atas saran dan bimbingannya dalam penyempurnaan penelitian ini.

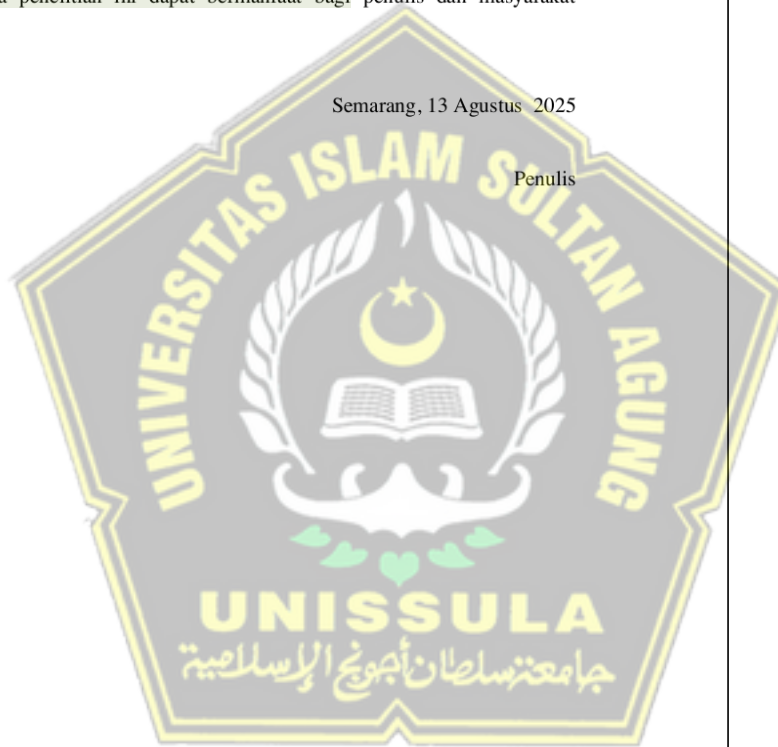
8. Prof. Dr. Ir. Muhammad Mukhlisin, MT., sebagai penguji eksternal atas saran dan bimbingannya dalam penyempurnaan penelitian ini.
9. Para dosen yang telah memberi bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama mengikuti Pendidikan Doktor Teknik Sipil pada Program Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
10. Staf pegawai serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya ujian sidang terbuka ini.

Penulis telah berupaya untuk menyelesaikan penelitian disertasi ini dengan maksimal, namun demikian penulis yakin masih terdapat banyak kekurangan yang perlu disempurnakan, oleh karena itu penulis mohon petunjuk, kritik dan saran yang dapat menyempurnakan penelitian ini menjadi lebih baik.

Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis dan masyarakat banyak.

Semarang, 13 Agustus 2025

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGUJI	iii
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	3
1.3. Rumusan Permasalah	4
1.4. Maksud dan Tujuan.....	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.6. Batasan Masalah	7
1.7. Originalitas dan Pembaharuan.....	7

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1. Genangan.....	10
2.2. Curah hujan Rerata daerah.....	11
2.3. Curah Hujan Rancangan.....	11
2.4. Uji Kesesuaian Distribusi.....	13
2.5. Waktu Konsentrasi.....	15
2.6. Intensitas Curah Hujan.....	16
2.7. Koefisien Pengaliran.....	16

2.8.	Debit Banjir Rancangan.....	17
2.9.	Debit Air Kotor.....	17
2.10.	Debit Total.....	19
2.11.	Drainase.....	19
2.12.	Sistem Drainase Perkotaan.....	20
2.13.	Kapasitas Saluran.....	20
2.14.	Konsep Drainase Berkelanjutan.....	22
2.15.	Sistem Drainase Jalan Berkelanjutan.....	24
2.16.	LID di atas Tanah.....	24
	2.16.1. Atap Hijau (<i>Green Roofs</i>).....	24
	2.16.2. Atap Hijau Luas (<i>Extensive Green Roof</i>).....	25
2.17.	LID Permukaan Tanah.....	26
	2.17.1. Trotoar Permeabel (<i>Permeable Pavements</i>).....	26
	2.17.2. Trotoar Penahan Air (<i>Water Retaining Pavements</i>).....	28
	2.17.3. Barel Air Hujan (<i>Rainwater Barrels</i>).....	28
	2.17.4. Parit Infiltrasi (<i>Infiltration Trenches</i>).....	29
	2.17.5. Bioretensi (<i>Bioretention</i>).....	30
	a. Taman Hujan (<i>Rain Garden</i>).....	30
	b. Sengkedan (<i>Swales</i>).....	31
2.18.	LID Bawah Tanah.....	32
	2.18.1. Soakawys.....	32
	2.18.2. Tank Bawah Tanah (<i>Underground Tanks</i>).....	33
2.19.	Sistem Penangkapan Air Hujan Kombinasi Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan.....	34
2.20.	Kerangka Berfikir.....	34
2.21.	Hipotesa.....	35
2.22.	Rencana Desain.....	37
2.23.	Penelitian Terdahulu Yang Sejenis.....	44

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1.	Metode Infiltrasi.....	52
------	------------------------	----

3.1.1.	Pengukuran Infiltrasi.....	53
3.1.2.	Tahapan Penelitian.....	53
3.1.3.	Pengumpulan Data.....	54
3.1.4.	Alat Yang Digunakan.....	54
3.1.5.	Uji Infiltrasi.....	55
3.1.6.	Perhitungan Parameter Metode Horton.....	57
3.2.	Metode Kotak Infiltrasi Sederhana.....	58
3.2.1.	Desain Kotak Infiltrasi Sederhana.....	58
3.2.2.	Bahan dan Model Infiltrasi Sederhana.....	59
3.3.	Metode Kotak Infiltrasi Median Jalan	61
3.3.1.	Skema Model Kotak Infiltrasi dan Sumur	
	Resapan.....	62
3.3.2.	Alat.....	63
3.3.3.	Bahan	63
3.4.	Tahap Penelitian.....	64
3.4.1.	Tahap Persiapan.....	65
3.4.2.	Tahap Pengujian.....	65
3.4.3.	Analisa Data.....	67
BAB 4	HASIL PERHITUNGAN DAN UJI LABORATORIUM	
4.1.	Data dan Analisa Hidrologi.....	73
4.1.1.	Curah Hujan.....	74
4.1.2.	Debit Limpasan.....	80
4.2.	Uji Karakteristik Tanah.....	84
4.2.1.	Jenis Tanah dan Lokasi Sampel Tanah.....	84
4.2.2.	Lokasi Pengambilan Sample Tanah.....	85
4.2.3.	Hasil Analisa Gradasi Tanah (Uji Saringan- Hidrometer).....	85
4.2.4.	Parameter Infiltrasi Horton.....	87
4.2.5.	Permeabilitas Tanah.....	93
4.3.	Analisis Reduksi Limpasan Air Hujan Menggunakan Kotak Infiltrasi.....	94

4.4.	Uji Model ke-1 Kotak Infiltrasi Sederhana.....	101
4.4.1.	Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Jenuh.....	103
4.4.2.	Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Tidak Jenuh	105
4.4.3.	Efisiensi Model Kotak Infiltrasi Sederhana.....	106
4.5.	Uji Model ke-2 Kotak Infiltrasi di Median Jalan.....	109
4.5.1.	Uji Model Tanpa Kotak di Median.....	109
4.5.2.	Uji Model Dengan Kotak Infiltrasi di Median Jalan	112
4.5.3.	Perbandingan Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi.....	114
4.5.4.	Analisa Reduksi Debit Limpasan.....	115
4.6.	Uji Model 3 Eksisting Aliran di Median Jalan dan Saluran Tepi.....	116
4.6.1.	Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Jenuh.....	118
4.6.2.	Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Tidak Jenuh	121
4.6.3.	Perbandingan Tanah Jenuh dan Tak Jenuh Tanpa Kotak Infiltrasi	125
4.6.4.	Analisa Pengaruh Kondisi Tanah Terhadap Limpasan.....	126
4.7.	Uji Model ke-4 Kombinasi Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan.....	130
4.7.1.	Dasar Penggunaan Ketiga Variasi Aliran dan Perbedaannya.....	132
4.7.2.	Perbedaan Ketiga Variasi Aliran	134
4.7.3.	Variasi 2 model Simulasi Dengan Arah Inflow Yang Berbeda.....	135
4.7.4.	Simulasi Aliran Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan.....	135
4.7.5.	Simulasi Aliran Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan.....	147

4.7.6. Perbandingan Antara Arah Aliran dari Median dan Arah Aliran Kombinasi Dengan Adanya Kotak infiltrasi dan Sumur Resapan.....	156
4.7.7. Analisis Perbandingan Debit Limpasan Secara Keseluruhan Berdasarkan Teble 4.40.....	159

BAB 5 PEMBAHASAN

5.1. Analisis Debit Limpasan di Lokasi Badan Jalan.....	163
5.1.1. Reduksi Limpasan Periode ulang 2, 5 dan 10 dengan durasi 15 menit.....	166
5.1.2. Reduksi Limpasan Periode ulang 2, 5 dan 10 dengan durasi 20 menit.....	169
5.2. Pengaruh Karakteristik Tanah Terhadap Limpasan.....	170
5.2.1. Uji ke 1, Limpasan Pada Kotak Infiltrasi Sederhana.....	171
5.2.2. Uji ke 3, Eksisting Aliran di Median Jalan dan Saluran Tepi.....	173
5.3. Pengaruh Karakteristik Tanah Terhadap Infiltrasi.....	178
5.3.1. Uji ke 1, Infiltrasi Pada Kotak Infiltrasi Sederhana.....	179
5.3.2. Uji ke 3, Infiltrasi Pada Eksisting Aliran di Median Jalan dan Saluran Tepi.....	182
5.4. Analisis uji limpasan di median jalan, tanpa kotak infiltrasi dan dengan kotak infiltrasi.....	185
5.4.1. Uji ke 2, Kotak Infiltrasi di Median Jalan.....	186
5.5. Uji ke 4, Analisis Kombinasi Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan	188
5.5.1. Aliran Dari Median Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi beserta Sumur Rerapan.....	189
5.5.2. Aliran Dari Median dan Drainase Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi beserta Sumur Rerapan.....	192

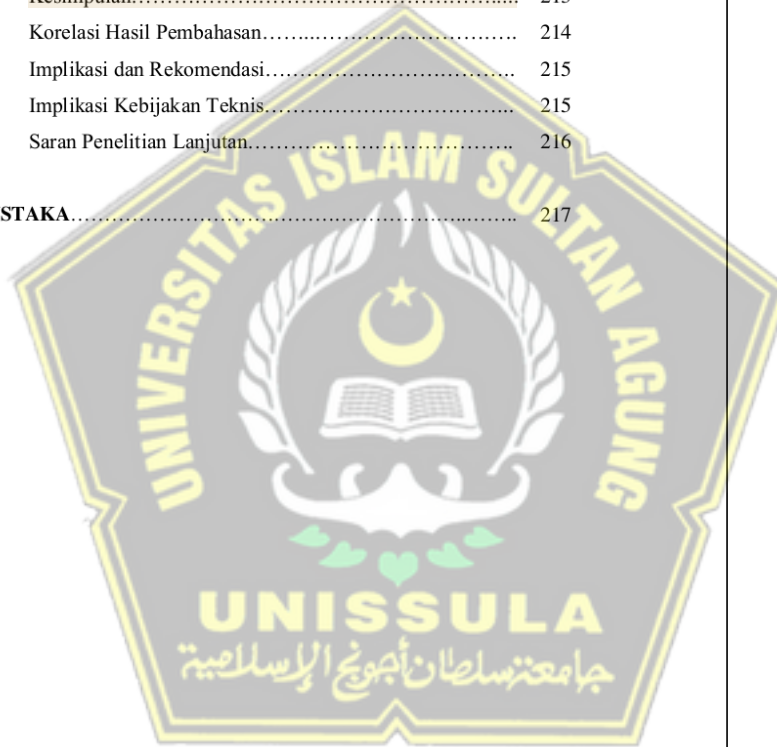
5.6.	Perbandingan Debit.....	196
5.6.1.	Uji Ke 1, Kotak Infiltrasi Sederhana.....	196
5.6.2.	Uji Ke 2, Kotak Infiltrasi di Median Jalan.....	197
5.6.3.	Uji Ke 3, Eksisting Aliran di Median Jalan	199
5.6.4.	Uji Ke 4, Kombinasi Aliran dari Median dan Drainase.....	201
5.7.	Analisis Reduksi run off dengan dan tanpa kotak dan sumur resapan.....	206
5.8.	Kalibrasi Horton.....	208
5.9.	Hasil Validasi Model.....	212

18

BAB 6 KESIMPULAN, KORELASI, REKOMENDASI DAN SARAN

6.1.	Kesimpulan.....	213
6.2.	Korelasi Hasil Pembahasan.....	214
6.3.	Implikasi dan Rekomendasi.....	215
6.4.	Implikasi Kebijakan Teknis.....	215
6.5.	Saran Penelitian Lanjutan.....	216

DAFTAR PUSTAKA.....	217
----------------------------	------------



DAFTAR GAMBAR

24		
Gambar 1.1.	Perbandingan perilaku limpasan sebelum dan sesudah pembangunan perkotaan	4
Gambar 1.2.	Contoh Model kotak infiltrasi Bentuk Lapis 1, 2 Serta Bentuk Pengikatan	8
Gambar 2.1.	Hujan jatuh di atap vegetasi sebagai tahanan limpasan permukaan	25
Gambar 2.2.	Perkerasan Permeabel, berfungsi reservoir menyimpan dan merembeskan hujan	27
Gambar 2.3.	Trotoar Penahan Air	28
Gambar 2.4.	Tong hujan dekat bangunan, tampung air hujan dari pipa limpahan dialirkan ke taman hujan dan saluran pembuangan	29
Gambar 2.5.	Parit resapan diisi batu dan kerikil untuk menahan limpasan untuk infiltrasi	30
Gambar 2.6.	Taman hujan mengganti tanah alami dengan media pertumbuhan vegetasi, yang menahan dan menyaring air hujan	31
Gambar 2.7.	Sengkedan adalah lapisan vegetasi yang tertekan di atas lapisan perantara filter pada tanah alami yang permeable untuk menampung air hujan untuk mendorong infiltrasi	31
Gambar 2.8.	Perendaman adalah sel bawah tanah berskala kecil yang diisi dengan kerikil dan batu untuk menyimpan air hujan untuk infiltrasi	33
Gambar 2.9.	Tangki bawah tanah menyimpan air hujan dari permukaan tersegel di atas untuk penggunaan selanjutnya yang tidak dapat diminum. Luapan dari tangki dialirkan ke selokan lokal.	33
Gambar 2.10	Kerangka Berfikir	36
Gambar 2.11	Lokasi Jalan dr Cipto Kota Cirebon	38
Gambar 2.12	Lokasi Jalan Brigjen Soedarsona kota Cirebon	38
Gambar 2.13	Lokasi Jalan Terusan Pemuda kota Cirebon	38
Gambar 2.14	Denah Lokasi Kotak infiltrasi dan Sumur Resapan	39
Gambar 2.15	Tampak Depan Potongan A-A Lokasi Kotak infiltrasi dan Sumur Resapan	40
Gambar 2.16	Tampak Samping Potongan B-B Lokasi Kotak infiltrasi dan Sumur Resapan	41
Gambar 2.17	Tampak Atas Potongan C-C Lokasi Kotak infiltrasi dan Sumur Resapan	42
Gambar 2.18	Detail Kotak dan Pipa HDPE 16 mm (High Density Polyethylene) di Median Jalan	43
Gambar 2.19	Hubungan gabungan hidrograf limpasan dengan kapasitas saluran	50

38		
Gambar 3.1.	Skema Alat Double Ring Infiltrometer.....	52
Gambar 3.2	Alat Double Ring Infiltrometer.....	54
Gambar 3.3	Proses Penyiapan Lahan atau Lokasi Pengujian.....	55
Gambar 3.4	Posisi Pemasangan Ring.....	56
Gamabr 3.5	Pengisian Air Pada Silinder.....	56
Gambar 3.6	Pengukuran Laju Infiltrasi.....	57
Gambar 3.7	Desain Kotak Infiltrasi Sederhana.....	59
Gambar 3.8	Kotak Infiltrasi Sederhana.....	60
Gambar 3.9	Bentuk Nozzle.....	60
Gambar 3.10	Flowmeter.....	61
Gambar 3.11	Model Flume Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan.....	62
Gambar 3.12	Model Desain kotak Infiltrasi dan pipa inflow beserta konektor inflow.....	63
Gambar 3.13	Kotak Infiltrasi Sederhana.....	67
Gambar 3.14	Flume Median Jalan Tanpa Kotak Infiltrasi.....	68
Gambar 3.15	Flume Median Jalan Dengan Kotak Infiltrasi.....	68
Gambar 3.16	Kotak Infiltrasi.....	69
Gambar 3.17	Flume Median dan Flume Drainase.....	69
Gambar 3.18	Flume Median dan Flume Drainase Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan Aliran dari Median.....	70
Gambar 3.19	Flume Median dan Flume Drainase Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan Aliran Median dan Drainase.....	70
Gambar 3.20	Flume Median dan Flume Drainase Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan Aliran dari Median.....	71
Gambar 3.21	Median dan Flume Drainase Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resap Aliran dari Median dan Drainase.....	71
Gambar 3.22	Bagan Alir Penelitian.....	72
Gambar 4.1	Uji konsistensi data hujan stasiun Harjamukti.....	75
Gambar 4.2	Polygon Thiesen DAS Kedungpane.....	76
Gambar 4.3	Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF).....	80
Gambar 4.4	Limpasan Jalan Taman Pemuda Cirebon Tahun 2022.....	83
Gambar 4.5	Lokasi Genangan.....	83
Gambar 4.6	Skema Aliran Drainase.....	84
Gambar 4.7	Lokasi Pengambilan Sampel Tanah.....	84
Gambar 4.8	Gradasi Butiran Tanah Pada Fasilitas Umum.....	86
Gambar 4.9	Gradasi Butiran Tanah Pada Permukiman.....	86
Gambar 4.10	Log ($f_0 - f_c$) Terhadap Waktu Metode Horton Fasilitas Umum.....	88
Gambar 4.11	Laju Resapan Lokasi Fasilitas Umum.....	89
Gambar 4.12	Log ($f_0 - f_c$) Terhadap Waktu Metode Horton Lokasi Permukiman.....	91

Gambar 4.13	Laju Resapan Lokasi Permukiman.....	92
Gambar 4.14	Kurva Fitting Persamaan Horton Fasilitas Umum.....	95
Gambar 4.15	Bentuk Tiga Dimensi Kotak Infiltrasi.....	97
Gambar 4.16	Model Kotak Infiltrasi Sederhana.....	101
Gambar 4.17	Limpasan dan Infiltrasi Tanah Jenuh.....	103
Gambar 4.18	Kejadian Limpasan.....	105
Gambar 4.19	Limpasan dan Infiltrasi Tanah Tidak Jenuh.....	106
Gambar 4.20	Flume Median Jalan Tanpa Kotak Infiltrasi.....	110
Gambar 4.21	Uji Model Tanpa Kotak Infiltrasi Pada Flume	110
Gambar 4.22	Pengukuran Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak Infiltrasi	111
Gambar 4.23	Limpasan Tanpa Kotak infiltrasi	112
Gambar 4.24	Pemasangan Kotak infiltrasi dan Pengujian pada Flume Median.....	113
Gambar 4.25	Limpasan dan Infiltrasi Dengan Kotak infiltrasi.....	114
Gambar 4.26	Flume Median Jalan dan Flume Saluran Tepi Tanpa Kotak infiltrasi	117
Gambar 4.27	Kondisi Awal Tanah Tidak Jenuh.....	118
Gambar 4.28	Pengukuran Limpasan Pada Flume Drainase.....	119
Gambar 4.29	Pengukuran Infiltrasi Pada Flume Drainase.....	119
Gambar 4.30	Debit Limpasan Tanah Jenuh Pada Flume Drainase.....	120
Gambar 4.31	Pengukuran Limpasan Pada Flume Median Untuk Tanah Jenuh.....	120
Gambar 4.32	Debit Limpasan Tanah Jenuh Pada Flume Median.....	122
Gambar 4.33	Pengukuran Tinggi Limpasan dan Infiltrasi Pada Flume Drainase Untuk Tanah Tidak Jenuh.....	122
Gambar 4.34	Pengukuran Limpasan Pada Flume Median Untuk Tanah Tidak Jenuh.....	122
Gambar 4.35	Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanah Tidak Jenuh Drainase	123
Gambar 4.36	Debit Limpasan Tanah Tidak Jenuh Pada Flume Median...	123
Gambar 4.37	Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanah Tidak Jenuh Median.	124
Gambar 4.38	Kotak Infiltrasi Berada di Bawah Median Jalan.....	130
Gambar 4.39	Model Flume Median, Flume Sumuran dan Flume Drainase.....	130
Gambar 4.40	Model Flume Median, Flume Sumuran dan Flume Drainase.....	131
Gambar 4.41	Bentuk Kotak infiltrasi di Median Jalan.....	132
Gambar 4.42	Outflow Median dan Drainase Tanpa Kotak dan Sumur Resapan, Arah Aliran dari Median.....	138
Gambar 4.43	Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak dan Sumur, Arah Aliran dari Median.....	140
Gambar 4.44	Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur, Arah Aliran dari Median.....	141

18		
Gambar 4.45	Outflow Median dan Drainase Tanpa Kotak dan Sumur Resapan, Arah Aliran dari Median dan Drainase (Kombinasi).....	142
Gambar 4.46	Outflow Median dan Drainase Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan, Arah Aliran dari Median.....	149
Gambar 4.47	Debit Infiltrasi dan Limpasan Flume Median.....	150
Gambar 4.48	Debit Infiltrasi dan Limpasan Flume Drainase.....	150
Gambar 4.49	Outflow Infiltrasi dan Limpasan Dengan Kotak dan Sumur, Arah Aliran dari Keduanya.....	154
Gambar 4.50	Debit Infiltrasi dan Limpasan Dengan Kotak dan Sumur, Arah Aliran dari Keduanya.....	155
Gambar 4.51	Debit Infiltrasi dan Limpasan Dengan Kotak dan Sumur, Arah Aliran dari Keduanya.....	155
Gambar 5.1.	Rekap Kondisi Limpasan Drainase.....	166
Gambar 5.2.	Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh.....	171
Gambar 5.3.	Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Median.....	174
Gambar 5.4.	Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Drainase.....	175
Gambar 5.5.	Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh.....	179
Gambar 5.6.	Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Drainase.....	182
Gambar 5.7.	Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Median.....	184
Gambar 5.8.	Limpasan di Median, Tanpa dan Dengan Menggunakan Kotak.....	186
Gambar 5.9.	Limpasan di Median, Tanpa dan Dengan Kotak dan Sumur.....	189
Gambar 5.10	Limpasan di Drainase, Tanpa dan Dengan Kotak dan Sumur.....	191
Gambar 5.11.	Limpasan di Median, Tanpa dan Dengan Kotak dan Sumur.....	193
Gambar 5.12.	Limpasan di Drainase, Tanpa dan Dengan Kotak dan Sumur.....	194
Gambar 5.13.	Perbandingan Debit Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh.....	196
Gambar 5.14	Perbandingan Debit di Median Tanpa dan Dengan Kotak Beserta.....	198
Gambar 5.15	Perbandingan Debit Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh di Median.....	199
Gambar 5.16	Perbandingan Debit Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh di Drainase.....	200
Gambar 5.17	Perbandinagn Debit di Median Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur (Aliran dari Median).....	202
Gambar 5.18	Perbandinagn Debit di Drainase Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur (Aliran dari Median dan Drainase).....	203

Gambar 5.19	Perbandinagn Debit di Median Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur (Aliran dari Median dan Drainase).....	204
Gambar 5.20	Perbandinagn Debit di Drainase Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur	205



11 DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	85 Nilai Parameter Chi-Kuadrat Kritis (X_{cr})	15
Tabel 2.2.	Koefisien Pengaliran (C).....	17
Tabel 2.3.	Nilai Koefisien Manning.....	21
Tabel 2.4.	Kontrol Limpasan Perkotaan.....	24
Tabel 2.5.	Ringkasan Tinjauan Penelitian Sebelumnya.....	44
Tabel 3.1	Variasi dan Skenario Pengujian.....	67
Tabel 4.1	Stasiun Hidrologi dan Klimatologi.....	73
Tabel 4.2	Curah Hujan DAS Kedungpane.....	74
Tabel 4.3	Koefisien Thiesen DAS Kedungpane.....	75
Tabel 4.4	Curah Hujan Tahunan Rata-rata.....	76
Tabel 4.5	Kriteria Pemilihan Distribusi Jenis Sebaran.....	77
Tabel 4.6	Hasil Uji Kecocokan.....	77
Tabel 4.7	Nilai k dengan periode ulang.....	78
Tabel 4.8	Hujan Rencana Untuk Periode Ulang.....	78
Tabel 4.9	Intensitas Hujan dengan periode ulang tertentu.....	79
Tabel 4.10	Kriteria Desain Hidrologi Sistem Drainase Perkotaan..	81
Tabel 4.11	Kejadian Banjir kota Cirebon.....	81
Tabel 4.12	Rekap Debit Limpasan Periode Ulang 5 tahun durasi 15 menit.....	82
Tabel 4.13	Luas Jenis tanah.....	85
Tabel 4.14	Perhitungan Lokasi Fasilitas Umum.....	87
Tabel 4.15	Hasil Perhitungan Resapan Pada Lokasi Fasilitas Umum.....	89
Tabel 4.16	Perhitungan Lokasi Permukiman.....	90
Tabel 4.17	Hasil Perhitungan Resapan Pada Lokasi Permukiman..	92
Tabel 4.18	Reduksi Limpasan Periode ulang 2, 5 dan 10 dengan durasi 15 menit.....	99
Tabel 4.19	Reduksi Lipasan Periode ulang 2, 5 dan 10 dengan durasi 20 menit.....	99
Tabel 4.20	Debit Limpasan.....	107
Tabel 4.21	Debit Infiltrasi.....	108
Tabel 4.22	Debit Tampungan Kotak Infiltrasi Sederhana.....	108
Tabel 4.23	Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanah Jenuh.....	125
Tabel 4.24	Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanah Tidak Jenuh.....	125
Tabel 4.25	Perbandingan Debit Infiltrasi, Debit Limpasan Pada Saat Kondisi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh.....	126

Tabel 4.26	Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi.....	137
Tabel 4.27	Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi.....	139
Tabel 4.28	Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi.....	141
Tabel 4.29	Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi.....	143
Tabel 4.30	Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak dan Sumur Resapan Dengan Arah Aliran dari Median Jalan.....	143
Tabel 4.31	Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak dan Sumur Resapan Dengan Arah Aliran dari Median Jalan dan Saluran Tepi.....	144
Tabel 4.32	Perbandingan debit limpasan.....	144
Tabel 4.33	Perbandingan Infiltrasi.....	145
Tabel 4.34	Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi.....	148
Tabel 4.35	Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi.....	148
Tabel 4.35a	Perbandingan debit limpasan Tanpa dan Dengan Menggunakan Kotak Infiltrasi beserta Sumur Resapan	151
Tabel 4.35b	Perbandingan debit Infiltrasi Aliran dari Median	152
Tabel 4.36	Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi.....	153
Tabel 4.37	Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi.....	154
Tabel 4.38	Debit Limpasan dan Infiltrasi Dengan Kotak dan Sumur Resapan Dengan Arah Aliran dari Median Jalan dan drainase.....	156
Tabel 4.39	Debit Limpasan dan Infiltrasi Dengan Kotak dan Sumur Resapan Dengan Arah Aliran dari Median Jalan dan drainase.....	156
Tabel 4.40	Perbandingan debit limpasan.....	157
Tabel 4.41	Perbandingan Infiltrasi Dengan Perbedaan Pemberian Aliran.....	159
Tabel 4.42	Kontribusi Penurunan Limpasan Secara Keseluruhan..	160
Tabel 5.1	Kriteria Umum Berdasarkan Fungsi Prasarana Drainase	164
Tabel 5.2	Intensitas Hujan dengan periode ulang tertentu	165
Tabel 5.3	Sebelum Adanya Kotak Infiltrasi	168
Tabel 5.4	Sesudah Adanya Kotak Infiltrasi	168
Tabel 5.5	Sebelum Adanya Kotak Infiltrasi	169
Tabel 5.6	Sesudah Adanya Kotak Infiltrasi	170
Tabel 5.7	Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh.....	172
Tabel 5.8	Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Median.....	174
Tabel 5.9	Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Drainase.....	176
Tabel 5.10	Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh.....	181
Tabel 5.11	Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh.....	183

Tabel 5.12	Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Median.....	184
Tabel 5.13	Debit Limpasan Tanpa dan Dengan Menggunakan Kotak Infiltrasi.....	187
Tabel 5.14	Debit Limpasan Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Flume Median.....	190
Tabel 5.15	Debit Limpasan Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Flume Drainase.....	191
Tabel 5.16	Debit Limpasan Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Flume Median.....	192
Tabel 5.17	Debit Limpasan Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Flume Drainase.....	195
Tabel 5.18	Reduksi run off	206
Tabel 5.19	Hasil Perhitungan.....	212
Tabel 5.20	Perbandingan Data Kalibrasi dan Data Validasi.....	212



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Percepatan pengguna lahan permukiman, komersial, industri dan pertanian (Keyvanfar et al., 2018; Shafaghat et al., 2017). Pesatnya pembangunan sarana dan prasarana beberapa wilayah kota di Indonesia menimbulkan dampak kepada lingkungan. Ruang terbuka hijau menjadi berkurang, tidak tersedianya daerah resapan air di wilayah kota (Darsono, 2007; Halief et al., 2011). Perubahan tutupan lahan, terbangun perkerasan jalan, tempat parkir berkontribusi hingga 70% sumber peningkatan beban drainase (Barbosa et al., 2012). Meningkatnya daerah kedap air dan terbangun dapat membatasi infiltrasi ke tanah (Tribhuwana & Prasetyo, 2020), timbul masalah, peningkatan volume dan kecepatan limpasan permukaan (Konrad, 2003).

Intensitas tinggi memicu banjir di jalan, sistem saluran pembuangan menua, kurangnya drainase, dan permukaan kedap air (Chang, 2018; Douglas et al., 2010; Ranger et al., 2011). Banjir disebabkan curah hujan berlebihan dan kurangnya daerah tangkapan air (Wahyudi et al., 2017). Banjir kota, bencana yang selalu berkembang karena meningkatnya urbanisasi, akibat penggunaan lahan (Hallegatte & Corfee-Morlot, 2011). Hujan hingga limpasan prosesnya sangat cepat, sistem drainase dan masuk ke sungai. (Anker et al., 2019). Terganggunya fungsi hidrologis wilayah sebagai daerah penangkapan air hujan, resapan, serta penyimpanan air (L. Zhang et al., 2019). Kota Cirebon sebagian besar pengelolaan drainase masih secara konvensional. Masih terdapatnya 18 titik banjir atau daerah genangan (Liarto, 2022). Kawasan rawan genangan banjir berada di kawasan Jalan Pemuda dan Jalan Terusan Pemuda (Tribhuwana et al., 2021), kawasan Kampung Sukasari, Kawasan Jalan Dr. Cipto Mangunkusumo, Kawasan Gunungsari-Jalan Ampera, Kawasan Perumnas Burung, Kawasan Perumnas Gunung, Kawasan Kali Tanjung, dan Kawasan Majasem.

Tindakan penyesuaian tidak sesuai dan tidak mampu mengatasi banjir perkotaan saat ini (J. Du et al., 2012; Yin et al., 2015). Tantangan semakin besar oleh perubahan iklim, diprediksi meningkatkan frekuensi curah hujan dan intensitas (Schreider et al., 2000). Bencana banjir lebih luas, akibat air hujan lokal yang terus menerus dan terlokalisir (Cossio et al., 2015; Festing et al., 2013; Jha et al., 2011). Kerugian akibat banjir semakin meningkat, merusak infrastruktur, lingkungan, kemacetan lalu lintas (Wahyudi et al., 2017). Kapasitas sistem drainase perkotaan tidak efektif, beban drainase terus terjadi seiring dengan berlanjutnya urbanisasi (Roy et al., 2008).

Upaya infrastruktur hanya dapat menanggulangi permasalahan jangka pendek. Pertumbuhan kota tidak dipertimbangkan, ruang menyimpan aliran sementara selama banjir (Ligtenberg, 2017). Upaya global lebih terfokus pada implementasi infrastruktur pengendalian banjir, seperti tanggul, bendungan, dan saluran air, namun upaya tersebut, kota-kota masih tetap rentan terhadap risiko banjir. Hal tersebut diperlukan strategi yang mampu mengembalikan fungsi alami tanah dalam mendistribusi air hujan, khususnya untuk merestorasi dan memulihkan air hujan.

Strategi diperlukan untuk mengelola perubahan iklim (Field et al., 2012). Strategi Sistem drainase dianggap sebagai strategi yang tepat untuk mengelola air hujan (Mishra et al., 2020). Mengalirkan air dengan cara alami menggunakan alat infiltrasi, retensi dan penyimpanan di daerah perkotaan (Mikovits, 2017). Struktur kontrol sumber bervegetasi seperti sengkedan, penyimpanan bawah tanah, trotoar permeabel atau atap hijau, dengan kapasitas terbatas dan ambang desain tertentu. Perhatian khusus adalah pengendalian arus luapan jika terjadi perubahan iklim yang melampaui kapasitas sistem drainase (Tribhuwana et al., 2021). Kelebihan aliran dari sistem drainase dapat dialihkan ke permukaan atau jalan menuju kawasan serbaguna (Mantika et al., 2020; Mikovits, 2017). Pengelolaan limpasan ini dapat mengurangi potensi bencana banjir di daerah hulu karena limpasan air di hilir telah dikelola sebelumnya dan memperbanyak cadangan air tanah (Marks & Lebel, 2016).

Penelitian ini dilakukan untuk mengurangi genangan dalam mengelola air hujan mengikuti proses siklus hidrologi alami dalam bentuk rekayasa infrastruktur

berkelanjutan yang mampu menghadapi adanya perubahan iklim. Pada saat terjadi hujan deras saluran tidak dapat menampung debit sehingga melimpas dan mengakibatkan jalan menjadi tergenang melumpuhkan aktifitas transportasi, dengan adanya model pengembangan menggunakan median jalan sebagai lahan yang terbatas dapat dimanfaatkan dalam pengelolaan limpasan jalan. Model ini mempunyai konsep mengatur limpasan permukaan ke drainase yang tidak mampu dalam kapasitas saat hujan deras hingga dibutuhkan suatu ruang yang berada pada median jalan yang dipergunakan untuk mengatur limpasan dengan infiltrasi. Model dan konsep pengelolaan air hujan ini belum pernah dilakukan oleh peneliti lain, sehingga ingin lakukan penelitian yang difokuskan pada penerapan infrastruktur berkelanjutan untuk mengurangi terjadinya genangan

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas ada beberapa masalah yang bisa diidentifikasi antara lain :

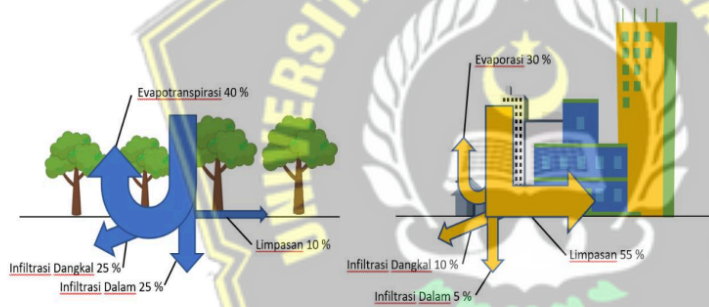
- a. Banyaknya kasus banjir akibat adanya perubahan iklim
- b. Pengembangan kota mengakibatkan permukaan kedap air hingga 70% sehingga mengakibatkan limpasan sebagai sumber peningkatan beban drainase
- c. Peningkatan beban drainase akan terus terjadi seiring dengan berlanjutnya urbanisasi
- d. Berkurangnya lahan terbuka menimbulkan potensi limpasan yang tinggi
- e. Sebagian besar pengelolaan drainase yang digunakan masih secara konvensional
- f. Meningkatnya daerah kedap air dan terbangun dapat membatasi infiltrasi ke tanah
- g. Strategi yang mampu mengembalikan fungsi alami tanah dalam mendistribusi air hujan, khususnya untuk merestorasi dan memulihkan air hujan
- h. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi genangan yang terjadi, akan tetapi mayoritas upaya yang telah dilakukan seperti penambahan

infrastruktur hanya dapat menanggulangi permasalahan untuk jangka pendek.

- i. Peristiwa bencana banjir lebih meluas, akibat dari air hujan lokal yang terus menerus dan terlokalisir
- j. Untuk menghambat luapan limpasan permukaan, untuk pemulihan siklus hidrologi
- k. Infiltrasi dapat difungsikan sebagai pengelolaan, pengendalian banjir, sebagai pasokan untuk keperluan air tanah dan sebagai konservasi air tanah

1.3. Rumusan Permasalahan

Limpasan terjadi di perkotaan yang berkembang pada bangunan, jalan, jalan tol, dan konstruksi lahan lainnya, Lahan alami mempunyai limpasan rendah jika terjadi curah hujan dan diserap oleh tanah dan vegetasi (Gambar 1). Limpasan terjadi selama perkembangan kota, Pertumbuhan perkotaan pada dasarnya mengubah lahan hijau menjadi permukaan kedap air dengan tanah yang dipadatkan peruntukan tempat parkir, jalan, dan bangunan. Sehingga terjadi pencegahan penyerapan air hujan oleh tanah. Akibatnya curah hujan mengalir dengan cepat, sehingga volume limpasan menjadi tinggi yang terakumulasi dapat berpindah di lokasi dengan sangat cepat (Gambar 1).



Gambar 1.1. Perbandingan perilaku limpasan sebelum dan sesudah pembangunan perkotaan

(Sumber : Diadopsi dari PUB, *Managing Urban Runoff – Drainage Handbook* (Petersen, 2010))

Terjadinya genangan di 18 titik di kota Cirebon, (Liarto, 2022) diakibatkan oleh pertumbuhan permukiman yang tinggi sehingga daerah resapan air ikut berkurang dan dapat memicu terjadinya genangan. Sampai saat ini, upaya-upaya yang telah dilakukan seperti pembangunan pelebaran dan pembersihan saluran maupun normalisasi sungai belum dapat mengatasi permasalahan genangan. Karena infrastruktur hanya berfungsi mengalirkan air tanpa meresapkannya ke dalam tanah, sehingga diperlukan suatu inovasi yang dapat menjadi alternatif berupa infrastruktur berkelanjutan yang mampu mengatasi adanya perubahan iklim. Kawasan rawan genangan banjir berada di kawasan Jalan Pemuda dan Jalan Terusan Pemuda, kawasan Kampung Sukasari, Kawasan Jalan Dr. Cipto Mangunkusumo, Kawasan Gunungsari-Jalan Ampera, Kawasan Perumnas Burung, Kawasan Perumnas Gunung, Kawasan Kali Tanjung, dan Kawasan Majasem.

Berdasarkan identifikasi masalah dan latar belakang di atas maka perumusan infiltrasi

- a. Bagaimana terjadinya limpasan di lokasi penelitian
- b. Bagaimana pengaruh karakteristik tanah terhadap infiltrasi
- c. Bagaimana variasi aliran di median jalan dengan menggunakan kotak infiltrasi dan sumur resapan, serta tanpa menggunakan kotak infiltrasi dan sumur resapan
- d. Bagaimana efisiensi model kotak infiltrasi dan sumur resapan
- e. Bagaimana perbandingan limpasan, infiltrasi dengan menggunakan kotak infiltrasi dan sumur resapan, serta tanpa menggunakan

1.4. Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik limpasan dan infiltrasi air hujan di median jalan dengan pendekatan eksperimental menggunakan kotak infiltrasi dan sumur resapan. Studi ini dilakukan untuk memahami efektivitas metode tersebut dalam meningkatkan infiltrasi dan mengurangi limpasan permukaan.

Secara lebih spesifik, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis debit limpasan di lokasi badan jalan.

- b. Menguji pengaruh karakteristik tanah terhadap infiltrasi.
- c. Menganalisis uji limpasan di median jalan, menggunakan kotak infiltrasi.
- d. Menganalisis Kombinasi kotak infiltrasi dan sumur resapan
- e. Menganalisis reduksi run off dengan dan tanpa penggunaan kotak infiltrasi dan sumur resapan

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perencanaan sistem drainase berkelanjutan, terutama dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan air hujan di lingkungan perkotaan.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan berbagai manfaat, baik secara akademis maupun praktis, dalam pengelolaan air hujan dan perencanaan drainase perkotaan.

Berikut adalah manfaat yang dapat diperoleh:

- a. Manfaat Akademis
 - Menambah wawasan dan pengetahuan tentang karakteristik limpasan dan infiltrasi di median jalan serta metode pengujiannya.
 - Memberikan referensi ilmiah mengenai efektivitas kotak infiltrasi dan sumur resapan dalam mengurangi limpasan permukaan.
 - Menyediakan model eksperimental sederhana yang dapat digunakan dalam penelitian hidrologi dan pengelolaan air hujan di daerah perkotaan.
- b. Manfaat Praktis
 - Memberikan solusi alternatif dalam pengelolaan air hujan di median jalan untuk mengurangi genangan dan risiko banjir.
 - Membantu dalam perencanaan dan desain sistem drainase berbasis resapan yang lebih efektif dan ramah lingkungan.
 - Memberikan informasi kepada pihak terkait, seperti pemerintah daerah, perencana kota, dan kontraktor jalan, mengenai efektivitas penggunaan kotak infiltrasi dan sumur resapan dalam mengelola limpasan air hujan.
- c. Manfaat Lingkungan
 - Mengurangi dampak negatif dari limpasan air hujan yang berlebihan, seperti erosi tanah dan pencemaran air permukaan.

- Meningkatkan daya resap tanah di area median jalan, sehingga dapat berkontribusi dalam konservasi air tanah.
- Mendukung konsep pembangunan berkelanjutan dengan pendekatan pengelolaan sumber daya air yang lebih baik.

115 Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan dalam pengelolaan infrastruktur jalan dan lingkungan perkotaan untuk menciptakan sistem drainase yang lebih efisien dan berkelanjutan.

1.6. Batasan Masalah

130 Berdasarkan hal yang diperlukan untuk pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah :

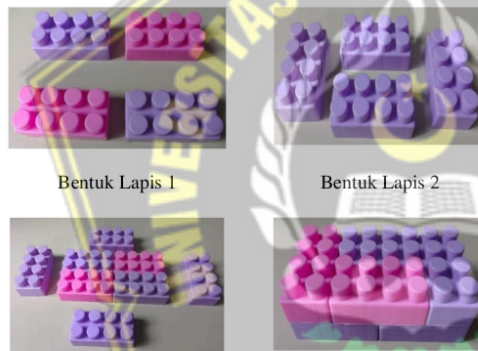
- a. Penelitian kotak infiltrasi dan sumur resapan dilakukan di laboratorium dengan mensimulasikan
- b. Kotak infiltrasi dirancang dan ditempatkan pada median jalan sedangkan sumur resapan berada dalam saluran
- c. Kondisi simulasi kotak infiltrasi dan sumur resapan dalam keadaan kosong
- d. Variasi aliran dari median jalan dan gabungan median dan drainase
- e. Penelitian kotak infiltrasi dan sumur resapan untuk pengelolaan dan pengalihan banjir permukaan
- f. Tidak dilakukan survei ketinggian air saat banjir di lapangan.
- g. Tidak menghitung sedimentasi
- h. Tidak menghitung daya dukung tanah akibat adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan
- i. Tidak menghitung kualitas air
- j. Tidak menghitung stabilitas, setelah pemasangan kotak infiltrasi di median jalan

1.7. Originalitas dan Pembaharuan

Kotak infiltrasi dan sumur resapan dirancang sebagai alternatif dalam pengendalian banjir perkotaan, akibat limpasan permukaan yang melebihi

volume saluran yang dapat difungsikan sebagai tandon air dan konservasi air tanah. Pada penelitian ini di tawarkan kotak infiltrasi yang direncanakan menggunakan material konstruksi dari plastik yang berongga dengan ukuran 50 cm x 45 cm x 100 cm, untuk penyusunan 1 lapis terdapat 4 kotak infiltrasi direncanakan menggunakan 3 lapis dan dapat bertahan cukup lama dan sangat berguna dalam pengelolaan dan pengalihan limpasan permukaan dan infiltrasi, kotak infiltrasi ini diharapkan sebagai alternatif pengganti polder yang membutuhkan lahan yang luas dan dapat dijadikan sebagai tampungan air berada di bawah fasilitas umum antara lain, dibawah struktur jalan, median jalan, tempat parkir, taman kota. ⁷¹ Pemanfaatan ruang secara sempit atau terbatas untuk kegiatan pengelolaan air hujan yang memiliki kemampuan tinggi dalam menahan limpasan air hujan.

Ketersediaan ruang sangat terbatas di kota Cirebon, maka usaha yang dilakukan untuk penanganan limpasan adalah dengan adanya kotak infiltrasi yang di desain peruntukannya untuk di bawah median jalan. Kotak infiltrasi ini akan di uji di laboratorium. Contoh bentuk pengikatan pemasangan lapis 1 dan lapis 2 seperti pada gambar 1.2.



Cara Pengikatan Lapis 1 dan 2 Hasil Pengikatan Lapis 1 dan 2
Gambar 1.2. Contoh Model Kotak infiltrasi Bentuk Lapis 1, lapis 2 Serta
Bentuk Pengikatan lapis 1 dan lapis 2

⁵ Kebaruan (noveltis) terdapat beberapa hal yang menyangkut kebaruan dari penelitian untuk disertasi ini merupakan rumusan sistem drainase jalan berkelanjutan terdiri dari:

1. Kotak infiltrasi dengan bentuk seperti keranjang segi empat terbuat dari bahan pelastik yang dapat disusun sesuai kebutuhan dilapangan, pada sisi bagian luar terdapat lubang dengan arah vertikal untuk jalan air. Sedangkan bagian dalam terdapat sekat yang berlubang vertikal. Sebagai stuktur kotak infiltrasi dan resapan permukaan.
2. Penempatan Kotak infiltrasi ini, berada di bawah median jalan yang disusun sesuai lebar dan panjang yang dibutuhkan

Pengembangan perangkat baru yang dapat mengontrol debit, dapat mengurangi aliran puncak berupa tampungan banjir dengan menggunakan kotak infiltrasi yang didesain :

- a. Sebagai penahanan air hujan
 1. Mengurangi volume limpasan air permukaan
 2. Sebagai tempat penyimpanan air permukaan
 3. Sebagai tempat peresapan dan infiltrasi air permukaan
- b. Sebagai penahanan air limpasan
 1. Sebagai tempat penyediaan cadangan air lingkungan
 2. Saluran darinase perkotaan
- c. Menyediakan ketahanan lingkungan dengan cara menjaga kuantitas dan kualitas air
- d. Mencegah dan memperbaiki polutan pada air permukaan untuk menjaga kualitas lingkungan
- e. Mudah pemasangan dan pembongkaran
- f. Lokasi penempatan kotak infiltrasi pada median jalan
- g. Lokasi penempatan sumur resapan pada drainase jalan
- h. Material yang digunakan ramah lingkungan

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Genangan

Genangan air akibat hujan karena limpasan permukaan yang berlebihan dan kapasitas yang tidak memadai dari sistem saluran pembuangan. Hal ini merupakan salah satu bencana alam yang paling sering dan serius di banyak kota besar di seluruh dunia, terutama curah hujan yang sangat deras. Peristiwa semacam itu dapat menimbulkan masalah bagi kota-kota yang mengalami urbanisasi cepat di mana karakteristik permukaan tanah telah dimodifikasi dengan cara mendukung peningkatan limpasan permukaan. Volume dan laju aliran dapat melebihi kapasitas sistem saluran pembuangan yang ada, menyebabkan pengisian daya berlebih, banjir permukaan, kerusakan properti, dan gangguan lalu lintas yang lebih sering (Butler et al., 2007). Genangan air memiliki puncak banjir yang lebih tinggi dan jeda waktu yang lebih pendek di daerah perkotaan daripada di daerah pedesaan (Brunetti et al., 2016; Shafique & Kim, 2017), terutama dari perluasan permukaan kedap air perkotaan (Angel et al., 2011; E. S. Lee et al., 2018; Tang et al., 2018), karena infiltrasi air hujan pada permukaan kedap air permukaan jauh lebih rendah dari pada permukaan sebelumnya (Collins et al., 2008; Sang & Yang, 2017).

Menemukan bahwa perkerasan kedap meningkatkan limpasan permukaan sebesar 43% (Drake et al., 2013). Ketika permukaan yang kedap mencapai lebih dari 10%, frekuensi genangan air perkotaan akan sangat meningkat (Jarden et al., 2016). Peningkatan permukaan kedap air akan mengurangi kemampuan infiltrasi air hujan (Pappas et al., 2008), sehingga meningkatkan limpasan permukaan dan aliran puncak dan pada akhirnya mempercepat terjadinya genangan air hujan di perkotaan. Namun, permukaan kedap tidak hanya mempengaruhi genangan air hujan perkotaan, tetapi juga mempengaruhi limpasan permukaan melalui distribusi aliran berdasarkan kejadian hujan (Kaspersen, 2017; Yu et al., 2018). Menemukan bahwa distribusi penggunaan lahan perkotaan yang berbeda memiliki efek penting pada limpasan permukaan (Poff et al., 2006). Bahwa tata ruang ekspansi seragam

permukaan kedap air dengan kepadatan rendah memiliki dampak paling kecil pada genangan air hujan perkotaan (Mejía & Moglen, 2009). Singkatnya, permukaan kedap melalui area dan tata ruang secara bersamaan menghambat infiltrasi air hujan, sehingga memperparah genangan air perkotaan. Oleh karena itu, mengurangi dampak permukaan kedap air pada limpasan permukaan menjadi cara penting untuk mengurangi genangan air perkotaan.

2.2. Curah Hujan Rerata Daerah

Curah hujan dilakukan dengan perhitungan membuat polygon Thiessen dengan membuat polygon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung dua stasiun. Tiap stasiun penakar R_n akan diletakkan pada suatu wilayah polygon tertutup.

Rumus Menghitung curah hujan :

$$R = \frac{R_1 \times C_1 + R_2 \times C_2 + R_3 \times C_3 + \dots + R_n \times C_n}{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n} \dots \dots \dots 2.1$$

Dimana :

$C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$ = Koefisien Thiessen
 $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ = Curah Hujan tiap titik pengamatan (mm)
 R = Curah hujan daerah (mm)

2.3. Curah Hujan Rancangan

Untuk memperkirakan besarnya curah hujan rencana dilakukan dengan metode Gumbel dan Log pearson Type III.

1. Metode E.J Gumbel

Persoalan tertua yang berhubungan dengan harga harga yang ekstrim adalah yang datang dari persoalan banjir. Tujuan dari statistic harga-harga ekstrim adalah untuk menganalisa hasil pengamatan harga harga ekstrim tersebut untuk maramal harga-harga ekstrim berikutnya . (Gumbel, 1941).

Rumus Menghitung hujan rencana metode Gumbel :

$$X_t = X_r + (K * S) \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana :

- X_t = Rencana curah hujan rencana periode ulang T tahun
- X_r = Rata-rata curah hujan maksimum
- K = Faktor Frekuensi yang merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe distribusi frekuensi
- S = Standar Deviasi

Rumus Menghitung Faktor Frekuensi :

Menghitung nilai faktor frekuensi (K) dari data curah hujan yang terekam di stasiun hujan setempat dengan rumus sebagai berikut ini.

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots 2.3$$

- K = Faktor Frekuensi yang merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe distribusi frekuensi
- Y_t = Reduced variated sebagai fungsi dari waktu ulang T, untuk distribusi E.j Gumbel
- Y_n = Reduced Mean sebagai fungsi dari rata banyak data (n)
- S_n = Reduced standart deviation sebagai fungsi dari banyak data (n)

Rumus Menghitung Standar Deviasi :

Menghitung standar deviasi dari data curah hujan yang terekam di stasiun hujan setempat

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_t - X_r)^2}{n-1}} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana :

- S_x = Standar deviasi
- X_t = Curah hujan rata-rata
- X_r = Rata-rata curah hujan maksimum
- n = Jumlah data

2. Distribusi Log Pearson Type III

Setelah diketahui tinggi curah hujan harian maksimum dari data hujan yang diperoleh, maka dengan menggunakan metode ini dapat dihitung besarnya hujan rencana yang terjadi dengan periode T tahun. Metode pada distribusi Log Pearson Type III menggunakan rumus sebagai berikut :(Cornelius, 2000)

2 Perhitungan curah hujan rencana dengan distribusi Probabilitas Log Pearson III

$$\log X_T = \log \bar{X} + (K * S) \dots \dots \dots 2.5$$

Dimana :

$\log X_T$ = nilai logaritma curah hujan rencana (mm/hari)

$\log \bar{X}$ = curah hujan rata-rata (mm)

K = factor frekuensi, nilainya tergantung koefisien kemencengan (C_s) terhadap waktu ulang

S = standar deviasi dari log x

Harga rata-rata log x dihitung dengan persamaan berikut :

$$\log \bar{X} = \frac{\sum \log \bar{X}}{n} \dots \dots \dots 2.6$$

Dimana :

$\bar{X}$ = data curah hujan maksimum

n = Jumlah data

Standar deviasi dihitung dengan persamaan berikut :

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \log \bar{X})^2}{n-1}} \dots \dots \dots 2.7$$

Dimana :

S = standar deviasi

$\log \bar{X}$ = curah hujan rata-rata (mm)

n = Jumlah data

2.8 Koefisien kemencengan dihitung dengan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{n \sum (\log X - \log \bar{X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot Sd^3} \dots \dots \dots 2.8$$

Dimana :

C_s = Koefisien kemencengan

$\log \bar{X}$ = curah hujan rata-rata (mm)

n = Jumlah data

S_d = Standar deviasi

2.4. Uji Kesesuaian Distribusi

Untuk mengetahui apakah suatu data sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih, maka setelah penggambarannya pada kertas probabilitas perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian ini biasanya dengan uji kesesuaian (testing of goodness of fit) yang dilakukan dengan dua cara yaitu Smirnov Kolmogorov dan Uji Chi Square

1. Uji Smirnov Kolmogorov

Pengujian ini dilakukan dengan menggambarkan probabilitas untuk tiap data, yaitu distribusi empiris dan distribusi teoritis yang disebut dengan Δ_{maks} . Dalam bentuk persamaan dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta_{maks} = [P_e - P_t] \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana :

Δ_{maks} = Selisih antara peluang empiris dan peluang teoritis

Δ_{cr} = Simpangan kritis

P_e = Probabilitas empiris

P_t = Probabilitas Teoritis

Kemudian dibandingkan antara Δ_{maks} dengan Δ_{cr} , Bila $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$ maka pemilihan distribusi frekuensi tersebut dapat diterapkan pada data tersebut.

2. Uji Chi-Square

Uji Chi Kuadrat diperlukan sebagai parameter kecocokan dari pendistribusi data yang digunakan

$$\chi^2 = \sum \frac{(oi - Ei)^2}{Ei} \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana :

χ^2 = Parameter Chi kuadrat terhitung

oi = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke i

Ei = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i

Jumlah kelas distribusi dihitung dengan rumus

$$K = 1 + 3,2222 \log n \dots\dots\dots 2.11$$

$$V(DK) = K - 1 - m \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana :

K = Jumlah kelas distribusi

n = Banyaknya data

$V(DK)$ = Derajat kebebasan

m = Parameter, besarnya = α

Agar distribusi frekuensi yang dipilih dapat diterima, maka nilai $\chi^2 < \chi^2_{cr}$

Tabel 2.1. Nilai Parameter Chi-Kuadrat Kritis (Xcr)

dk	α derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,388	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,448	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,114	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	35,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,733	46,979	50,892	53,672

2.5. Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi (Tc) adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari titik yang paling jauh pada daerah aliran sampai dengan titik yang ditinjau. Salah satu rumus yang dikembangkan oleh (Kirpich,1940). Dalam perjalanan limpasan air hujan, air melalui dua fase lahan yaitu fase lahan dan fase saluran. Waktu konsentrasi adalah jumlah dari fase lahan dan fase saluran sehingga perumusannya menjadi :

$$T_c = \left[\frac{0,0195}{60} \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,77} \right] \dots\dots\dots 2.13$$

Kemiringan dasar rata-rata saluran :

$$S = \frac{H}{L} \dots\dots\dots 2.14$$

Dimana :

L = Panjang saluran (m)

S = Kemiringan rata-rata daerah aliran (kemiringan dalam saluran)

2.6. Intensitas Curah Hujan

Perhitungan intensitas untuk mengetahui curah hujan

$$I = \left(\frac{R_{24}}{24} \right) x \left(\frac{24}{T_c} \right)^{2/3} \dots\dots\dots 2.15$$

Dimana :

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- R_{24} = Curah hujan maksimum periode ulang (mm)
- T_c = Lamanya hujan (jam)

Lamanya hujan pada perumusan diatas dinyatakan sama dengan waktu konsentrasi (tc) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari suatu titik terjauh pada DAS hingga mencapai titik yang ditinjau pada sungai. Dengan memperhitungkan kemiringan daerah aliran dan kemiring sungai, maka : Untuk T_c menggunakan rumus Kirpich sebagai berikut:

$$T_c = 0,011947 x (L^{0,77}) x S^{-0,385} \dots\dots\dots 2.16$$

Dimana :

- T_c = Waktu konsentrasi (jam)
- L = Panjang saluran (km)
- S = Kemiringan lahan

2.7. Koefisien Pengaliran

Pada suatu daerah pengaliran dengan tata guna lahan yang berbeda-beda, maka besarnya angka koefisien pengaliran ditetapkan dengan mengambil harga rata-rata berdasarkan bobot luas daerah, Tata guna lahan yang dipakai sebagai acuan adalah rencana tata guna lahan pada saat perencanaan ini dilaksanakan. Pehitungan koefisien pengaliran pada Kawasan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots 2.17$$

Dimana :

- C = Harga rata-rata koefisien pengaliran
- $C_1, C_2 \dots C_n$ = Keofisien pengaliran tiap daerah
- $A_1, A_2 \dots A_n$ = Luas masing-masing daerah

Tabel 2.2. Koefisien Pengaliran (C)

No	Tata Guna Lahan	Koefisien Pengaliran
1	Jalan beton dan aspal	0,70 – 0,95
2	Jalan kerikil dan jalan tanah	0,40 – 0,70
3	Bahu jalan: Tanah berbutir halus Tanah berbutir kasar Batuan masif keras Batuan masif lunak	0,40 – 0,65 0,10 – 0,20 0,70 – 0,85 0,60 – 0,75
4	Daerah perkotaan	0,70 – 0,95
5	Daerah pinggir kota	0,60 – 0,75
6	Daerah industri	0,60 – 0,90
7	Pemukiman padat	0,40 – 0,60
8	Pemukiman tidak padat	0,40 – 0,60
9	Taman dan kebun	0,20 – 0,40
10	Persawahan	0,45 – 0,60
11	Perbukitan	0,70 – 0,80
12	Pegunungan	0,75 – 0,90

Catatan : 1 acres = 0,405 ha

2.8. Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan pada daerah studi dihitung dengan menggunakan metode rasional. Dalam perencanaan bangunan air pada daerah pengaliran sungai dimana ada menyangkut masalah hidrologi didalamnya, sering dijumpai dalam puncak banjirnya dihitung dengan metode yang sederhana dan praktis. Pada keadaan tertentu, bentuk hidrograf banjir yang terjadi kadang-kadang tidak dibacakan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan.

$$Q = C . I . A \dots\dots\dots 2.18$$

Dimana :

Q = Debit maksimum (m^3/det)

C = Koefisien run off

I = Intensitas maksimum selama waktu konsentrasi

A = Luas daerah pengaliran (km^2)

2.9. Debit Air Kotor

Sebelum melakukan perhitungan debit air kotor terlebih dahulu melakukan perhitungan pertumbuhan jumlah penduduk pada tahun-tahun mendatang.

Perhitungan pertumbuhan penduduk dapat diperkirakan dengan menggunakan metode eksponensial

$$P_n = P_o \times e^{r \cdot n} \dots\dots\dots 2.19$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk tahun ke n.

P_o = Jumlah penduduk pada awal tahun

e = Bilangan pokok dari sistem logaritma alam sebenarnya

r = Angka pertumbuhan penduduk

n = Jangka waktu dalam tahun

Selain dengan rumus tersebut, proyeksi jumlah penduduk dapat juga dihitung dengan rumus pertumbuhan penduduk secara geometris. Adapun rumus pertumbuhan penduduk secara geometris sebagai berikut

$$P_t = P_o (1 + r)^n \dots\dots\dots 2.20$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk akhir tahun

P_o = Jumlah penduduk pada awal tahun

r = Tingkat pertumbuhan penduduk

n = Jangka tahun

Untuk memperkirakan debit air kotor, terlebih dahulu harus diketahui jumlah kebutuhan air rata-rata setiap orang dalam satu hari dan dianggap pemakaian dalam satu jam maksimum sama dengan 10% dan jumlah kebutuhan air dalam satu hari dan dianggap pemakaian dalam satu hari adalah 10 jam. Berdasarkan hal tersebut, maka jumlah air kotor yang dibuang tiap jam adalah 10% dari kebutuhan rata-rata setiap orang perhari.

Dengan demikian jumlah air kotor yang dibuang setiap km^2 dapat dihitung:

$$Q = \frac{P_n \cdot 80\% \cdot Q_{keb}}{A} \dots\dots\dots 2.21$$

Dimana :

Q = Debit air kotor (lt/dt/ km^2)

P_n = Jumlah penduduk

Q_{keb} = $4,167 \cdot 10^{-3}$ (lt/dt/orang)

A = Luas daerah (km^2)

2.10. Debit Total

Debit total yang digunakan untuk merencanakan suatu saluran yang berasal dari aliran limpasan air hujan dan air buangan rumah tangga kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan debit rencana saluran. Selanjutnya besarnya debit total dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_r = Q_{Total\ Aliran} + Q_{Rumah\ Tangga} \dots\dots\dots 2.22$$

Dimana :

Q_r = Debit total ($m^3/detik$)
 $Q_{Total\ Aliran}$ = Debit air hujan ($m^3/detik$)
 $Q_{Rumah\ Tangga}$ = Debit domestik ($m^3/detik$)

2.11. Drainase

Drainase adalah cara pengalihan aliran air secara alamiah atau buatan di permukaan tanah atau bawah tanah bagi suatu areal atau daerah untuk menghindari penggenangan air hujan di suatu tempat atau Kawasan dengan cara menangani kelebihan air sebelum masuk ke saluran atau sungai (Saidah et al., n.d.). Pertimbangan penting bahwa penyediaan yang dibuat untuk drainase jalan untuk memastikan kinerja perkerasan jalan guna menekankan drainase air hujan harus dirancang untuk mengumpulkan dan mengalirkan air limpasan yang dihasilkan di dalam daerah tangkapan air selama dan setelah kejadian hujan (Zumrawi, 2016) Saluran masuk drainase sering disediakan untuk mencegah genangan air dan membatasi penyebaran air.

Dari sudut pandang yang lain, drainase adalah salah satu unsur dari prasarana umum yang dibutuhkan masyarakat kota dalam rangka menuju kehidupan kota yang aman, nyaman, bersih, dan sehat. Prasarana drainase disini berfungsi untuk mengalirkan air permukaan ke badan air (sumber air permukaan dan bawah permukaan tanah) dan atau bangunan resapan. Selain itu juga berfungsi sebagai pengendali kebutuhan air permukaan dengan tindakan untuk memperbaiki daerah tergenang air dan banjir.

Kegunaan dengan adanya saluran drainase ini antara lain :

1. Mengeringkan daerah genangan sehingga tidak terjadi genangan terpusat

2. Menurunkan permukaan air tanah pada tingkat yang ideal.
3. Mengendalikan erosi tanah, kerusakan jalan dan bangunan yang ada.
4. Mengendalikan air hujan yang berlebihan sehingga tidak terjadi bencana banjir.

Drainase jalan merupakan prasarana jalan yang berfungsi untuk mengalirkan air permukaan yang melalui jalan dan dialirkan ke sungai atau penampungan lain, sesuai dengan konsep drainase berkelanjutan bisa diresapkan ke dalam tanah. Dalam merencanakan sistem drainase jalan berdasarkan pada keberadaan air permukaan dan bawah permukaan (Otto et al., 2020).

2.12. Sistem Drainase Perkotaan

Sistem drainase perkotaan adalah satu kesatuan sistem teknis dan non teknis dari prasarana dan sarana drainase perkotaan. Sistem drainase di definisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi atau membuang kelebihan air dari suatu Kawasan atau lahan, sehingga Kawasan atau lahan tersebut dapat difungsikan secara optimal. Sistem drainase merupakan bagian dari infrastruktur perkotaan yang sangat penting, sehingga sistem drainase yang baik dapat membebaskan kota dari genangan air hujan, sehingga tidak boleh diabaikan dalam suatu perencanaan. (Saidah et al., n.d.).

Bertolak dari hal tersebut, maka sangat baik diterapkan saat ini adalah sistem drainase yang berkelanjutan. Adapun konsep dasar pengembangan sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan adalah meningkatkan daya guna air, meminimalkan kerugian, serta memperbaiki dan konservasi lingkungan (Zhou, 2014). Untuk itu diperlukan usaha-usaha yang komprehensif dan integratif yang meliputi seluruh proses, baik yang bersifat struktural maupun non struktural.

2.13. Kapasitas Saluran

Saluran drainase dapat terbuka atau tertutup sesuai dengan keadaan, meskipun tertutup dan penuh air, alirannya bukan aliran tekanan, sehingga rumus aliran seragam selaku berlaku. Rumus kecepatan rata-rata pada perhitungan dimensi penampang saluran digunakan rumus Manning. Rumus ini merupakan bentuk yang sederhana dan memberikan hasil yang memuaskan, sehingga rumus ini sangat luas

penggunaanya sebagai rumus aliran seragam dalam perhitungan saluran

2 Untuk saluran dengan model penampang persegi

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots 2.23$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots 2.24$$

$$A = B \times H \dots\dots\dots 2.25$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots 2.26$$

$$P = B + 2H \dots\dots\dots 2.27$$

Untuk saluran dengan model trapezium

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots 2.28$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots 2.29$$

$$A = (B + m \cdot H)H \dots\dots\dots 2.30$$

$$P = B + 2H\sqrt{m^2 + 1} \dots\dots\dots 2.31$$

2 Dimana :

Q = Debit saluran (m^3/dt)

V = Kecepatan aliran (m/dt)

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling basah (m)

R = Jari-jari hidrolis (m)

B = Lebar saluran (m)

H = Tinggi muka air (m)

m = Kemiringan talud

Koefisien kekasaran manning(n) tergantung pada jenis material yang digunakan pada saluran drainase yang ditinjau. Untuk besaran koefisien manning(n) dari berbagai jenis material terdapat pada tabel dibawah ini

Tabel 2.3. Nilai Koefisien Manning

No	Jenis Material	Koefisien Manning (n)
I	Saluran dengan Lining	
a	Beton aspal	0,014
b	Exposed prefabricated concrete asphalt	0,015

c	Beton semen	0,018-0,022
d	Kayu	0,013
e	Pasangan batu kali	0,017
II	Saluran Tanah	
a	Lurus dan bersih tanpa cekungan	0,025-0,033
b	Seperti a tetapi agak berumput dan berbatu	0,03-0,04
c	Berbelok dengan beberapa cekungan dan pedangkalan	0,035-0,05
d	Agak berumput dengan cekungan dalam	0,05-0,08
e	Sangat berumput	0,075-0,15
III	Pipa	
a	Asbeston semen	0,09
b	Beton	0,01 -0,017
c	Cast iron,coated	0,013
d	Cast iron,uncoated	0,014

(Sumber : Ven Te Chow. hal 98)

2.14. Konsep Drainase Berkelanjutan

Konsep Sistem Drainase yang Berkelanjutan merupakan prioritas utama kegiatan dan harus ditujukan untuk mengelola limpasan permukaan dengan cara mengembangkan fasilitas untuk menahan air hujan. Berdasarkan fungsinya, fasilitas penahan air hujan dapat dikelompokkan menjadi dua tipe, yaitu tipe penyimpanan dan tipe peresapan (Míguez, 2014). Konsepsi perancangan drainase air hujan yang berdasarkan pada konsevasi air tanah pada hakekatnya adalah perancangan suatu sistem drainase air hujan jatuh di atap atau perkerasan, ditampung pada suatu sistem resapan air, sedangkan hanya air dari halaman bukan perkerasan yang perlu ditampung oleh sistem jaringan drainase (P. Zhang & Ariaratnam, 2018).

Sistem drainase berkelanjutan merupakan salah satu pemanfaatan sistem drainase pada kawasan perkotaan yang berfungsi mengelola air permukaan sehingga tidak menimbulkan masalah genangan, banjir, dan kekeringan, serta bermanfaat bagi kelestarian lingkungan hidup (Papiri et al., 2003). Konsep drainase yang berwawasan lingkungan dengan “Low Impact Development” (LID) adalah sistem drainase yang berwawasan lingkungan dengan upaya mempertahankan kondisi alam dan hidrologi sebelum dilakukan Pembangunan, kontrol air banjir yang didistribusikan di lokasi yang mencapai keseimbangan yang baik antara konservasi, pertumbuhan, perlindungan ekosistem, dan keselamatan publik (Liu et al., 2021). Dalam konsep drainase dengan LID memiliki lima elemen kunci yaitu :

- a. Rancangan sistem drainase LID harus menyesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lokasi (kearifan lokal).
- b. Konservasi pada vegetasi (tutupan lahan) dan memelihara sistem drainase alami.
- c. Mengalirkan air hujan ke badan air dan mengatur infiltrasi pada daerah genangan air alami dan buatan sampai pada akuifer.
- d. Kontrol dengan skala kecil, konsep drainase ini meniru proses hidrologi awal.
- e. Pemeliharaan dan pengelolaan drainase melibatkan peran serta masyarakat sebagai subjek dan penerima manfaat

Low Impact Development (LID) merupakan pendekatan manajemen aliran air permukaan yang inovatif dengan prinsip dasar memodelkan secara alami pengelolaan limpasan dari curah hujan dan penggunaan air perkotaan yang terdistribusi secara seragam. Tujuan LID adalah untuk meniru pengembangan siklus hidrologi dengan menggunakan praktik desain dan teknik yang secara efektif menangkap, menyaring, menyimpan, menguap, menahan, dan infiltrasi limpasan dekat dengan sumbernya. Hal ini dapat dicapai dengan menciptakan desain yang mengarahkan air limpasan ke area vegetasi dengan tanah hasil rekayasa, melindungi tanaman vegetasi asli, ruang terbuka hijau, dan mengurangi jumlah perkerasan permukaan tanah atau pemadatan tanah.

Langkah-langkah penyimpanan dan infiltrasi, didistribusikan di daerah aliran sungai dan diintegrasikan dengan lanskap perkotaan, harus diperkenalkan untuk mengurangi puncak banjir dan mengatur kembali pola aliran banjir (Miguez, 2014), dipahami sebagai teknik hijau dan solusi desain yang meniru proses alami dari drainase air hujan (Zhou, 2014), sebagai pendekatan desain antara lain :

- a. Sistem terpadu mengelola limpasan air hujan, yang terdiri dari sejumlah tahap perawatan.
- b. Kemampuan untuk menangani limpasan air hujan dalam peristiwa hujan ekstrim.
- c. Multi-fungsi, kemudahan, ekologi dengan langkah-langkah manajemen air hujan dan menambahkan fitur pengelolaan air untuk elemen ruang publik.

- d. Efisiensi biaya dan kemudahan pemeliharaan.

2.15. Sistem Drainase Jalan Berkelanjutan

Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan pada jalan berkaitan dengan hirarki jalan dan klasifikasi lokasi dengan menerapkan kriteria hidrologi dalam peningkatan kualitas air dan konservasi lingkungan. Disamping itu juga memperhatikan siklus hidrologi pada lokasi sekitar jalan untuk tetap dipertahankan dengan baik dan tidak mengalami hambatan, agar tidak membebani kawasan lain dengan adanya aliran permukaan pada jalan tersebut. Sistem drainase jalan dirancang dengan pola keberlanjutan dengan memperhatikan kualitas air, daerah tangkapan air, sumber daya air, kemudahan lokasi dan potensi peningkatan habitat pada lingkungan. Sistem drainase jalan yang berkelanjutan ini dapat dikembangkan di Kota Cirebon dengan tetap memperhatikan kondisi wilayah dan topografi yang berbeda disetiap wilayahnya dengan konsep kearifan lokal.

Menemukan dalam tinjauan artikel mitigasi banjir perkotaan termasuk atap hijau, atap non-vegetasi, pohon, trotoar permeabel, trotoar penahan air, parit infiltrasi, tong hujan, tangki air hujan, bioretensi, perendaman, dan tangki bawah tanah (Tabel 2.4). Kapasitas pelemahan aliran puncak dari masing-masing teknik adalah dianalisis secara skematis untuk menggambarkan mekanisme kerja masing-masing Teknik

Tabel 2.4. Kontrol Limpasan Perkotaan

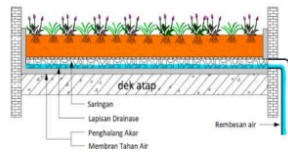
Kontrol Limpasan	Strategi LID
Di atas Tanah	Atap hijau, atap non-vegetasi
Permukaan Tanah	Pohon, trotoar berpori, trotoar penahan air, parit resapan, tong hujan, tangki air hujan, bioretensi
Di bawah Permukaan Tanah	Perendaman, dan tangki bawah tanah

2.16. LID di atas Tanah

2.16.1. Atap hijau (Green Roofs)

Atap hijau, yang dikenal sebagai atap bervegetasi, atap ramah lingkungan, dan atap alami, dibangun dengan menambahkan lahan tanaman. Atap hijau yang

khass memiliki enam lapisan termasuk tanaman, media tanam, filter, lapisan drainase, penghalang akar, dan lapisan kedap air membran (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Hujan jatuh di atap vegetasi sebagai tahanan limpasan permukaan

Atap hijau menawarkan serangkaian manfaat lingkungan seperti menyediakan isolasi termal untuk bangunan (Niachou et al., 2001), menciptakan habitat bagi satwa liar (Niachou et al., 2001), meningkatkan daya tarik estetika lanskap (Niachou et al., 2001), mengurangi pulau panas perkotaan (Niachou et al., 2001), menyerap karbon dioksida (Niachou et al., 2001), dapat digunakan fasilitas pengendalian untuk mengurangi limpasan perkotaan (Berardi et al., 2014). Hujan jatuh di atap hijau dapat ditahan di lapisan atap hijau, air hujan lebih masuk ke saluran pembuangan dan dibuang ke pipa saluran pembuangan (Berardi et al., 2014). atap hijau mengevakuasi air yang diserap melalui penguapan tanah dan transpirasi tanaman, mengatur ulang untuk menyerap air hujan pada curah hujan berikutnya (S. Li et al., 2019).

2.16.2. Atap hijau Luas (Extensive Green Roof)

Tingkat air hujan yang ditahan oleh atap hijau sangat berbeda, misalnya, 13,8–60,8% (J. Y. Lee et al., 2015), 12–25% (Spolek, 2008), 35,5–100% (Q. Zhang et al., 2015), 32–50,4% (Palermo et al., 2019), dan 19–98% (Denardo et al., 2005). (Gregoire & Clausen, 2011) meringkas retensi air hujan dari berbagai atap dan menemukan retensi rata-rata 56%. Kapasitas pengurangan limpasan tergantung pada spesies tanaman, kedalaman substrat, kemiringan atap, periode kering sebelumnya, kedalaman curah hujan, serta iklim setempat (A. Talebi, 2019). Koefisien limpasan tahunan atap berkurang dengan meningkatnya ketebalan lapisan substrat (Mentens et al., 2006), dengan kemiringan yang lebih kecil

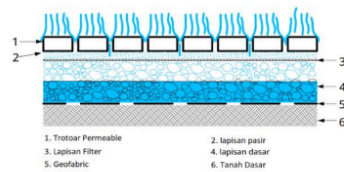
menahan lebih banyak air di lapisan substrat menyebabkan volume limpasan lebih sedikit (VanWoert et al., 2005). Kapasitas penahan air substrat tergantung pada periode kering sebelum hujan (Mangangka, 2015). (Bliss et al., 2009) menemukan bahwa atap mengurangi jumlah limpasan terbesar jika terjadi badai ringan dengan durasi yang singkat. Karena kedalaman dan durasi curah hujan bervariasi secara musiman, kapasitas penahan air dari atap hijau juga bervariasi secara musiman, dengan nilai yang lebih besar di musim panas daripada di musim dingin (Schroll et al., 2011).

Identifikasi waktu puncak sulit dan tidak perlu karena pola curah hujan alami tidak teratur dan kapasitas penyimpanan air dari atap hijau pada kejadian tertentu bervariasi (Stovin et al., 2012). Atap hijau memiliki kapasitas yang tinggi untuk mereduksi air hujan terutama pada curah hujan yang kecil (Ercolani et al., 2018). Dalam kasus hujan lebat, luapan tidak dapat dihindari setelah media jenuh (Carter & Jackson, 2007). Karena banjir perkotaan terjadi karena superposisi aliran puncak dari tangkapan yang berbeda selama hujan deras, persentase retensi atap hijau pada curah hujan kecil tidak penting. Yang penting adalah kedalaman retensi selama hujan deras. Seperti yang diukur oleh (DeNardo et al., 2003), kedalaman retensi dan retensi atap hijau tipikal adalah sekitar 1–5 cm, yang berarti bahwa atap hijau pasti meluap saat hujan deras.

2.17. LID Permukaan Tanah

2.17.1. Trotoar Permeable (Permeable Pavements)

Perkerasan permeabel memiliki lapisan permukaan permeabel yang diletakkan di atas lapisan dasar, yang diisi dengan kerikil atau batu bergradasi terbuka (Gambar 2.2) (Mullaney, 2014). Desain perkerasan permeabel Mullaney dan Lucke (Mullaney, 2014). Sebagai pilihan pengelolaan air hujan, perkerasan permeabel menawarkan banyak manfaat pemurnian air (S. B. Park et al., 2010), restorasi hidrologi alami (Andersen, 1999), dan pengurangan limpasan (Gülbaz & Kazezyılmaz-Alhan, 2016)



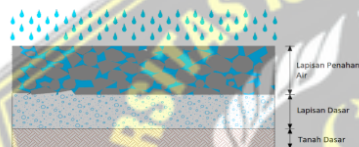
Gambar 2.2 Perkerasan Permeabel, berfungsi reservoir menyimpan dan merembeskan hujan

Lapisan dasar yang lebih tebal dan lebih berpori menyimpan lebih banyak air hujan dan dengan demikian mengurangi kemungkinan limpasan permukaan ke tingkat yang lebih besar (J. Park et al., 2020), tingkat infiltrasi tanah rendah, air hujan yang disimpan menyebar ke area tanah yang luas untuk meresap melalui area yang luas (Chai, 2012). Jenis perkerasan permeabel secara signifikan mempengaruhi kinerja hidrologi (Alam et al., 2019). (Rodriguez-Hernandez et al., 2016) mempelajari empat sistem perkerasan permeabel dengan lapisan permukaan yang berbeda dan bahan dasar yang berbeda. Beton berpori yang menutupi dasar agregat daur ulang mempertahankan jumlah yang lebih besar limpasan dan penundaan aliran puncak lebih besar daripada perkerasan beton interlock di atas perkerasan asli basis agregat. Blok beton yang saling bertautan menghasilkan aliran preferensial melalui celah antar blok, mengurangi aliran puncak dan retensi air. Demikian pula, (Sañudo-Fontaneda, 2014) menemukan bahwa meskipun lapisan permukaan permeabel yang dimodifikasi polimer yang diletakkan di atas dasar batu pecah mengurangi jumlah limpasan yang lebih besar daripada perkerasan sebelumnya, perbedaannya dapat diabaikan. Kecuali untuk perbedaan kecil ini, berbagai perkerasan permeabel melakukan hal yang sama dalam hal pengurangan limpasan (Collins et al., 2008) (Zachary Bean et al., 2007). Sementara trotoar permeabel menunda infiltrasi dan menahan semua air hujan jika terjadi curah hujan kecil, hal itu menyebabkan limpasan jika terjadi hujan lebat (Gomez-Ullate et al., 2011). Luapan dari permeable trotoar terjadi ketika tanah dasar adalah tanah permeabel rendah (Fassman, 2010).

2.17.2. Trotoar Penahan Air (Water-Retaining Pavements)

Perkerasan penahan air adalah paver berbasis aspal atau semen yang menahan air di lapisan atas secara istimewa dan mengevakuasi air melalui penguapan (Gambar 2.3). Perkerasan penahan air juga disebut perkerasan penahan air, penahan air, dan perkerasan air, atau terminologi identik lainnya (Nakayama & Fujita, 2010). Trotoar ini dibuat dengan mengisi media penahan air ke dalam ruang pori beton berpori. Pengisi dapat berupa terak, mortar, lumut, jaringan hidrofilik, dan media penahan air lainnya (Takahashi & Yabuta, 2009).

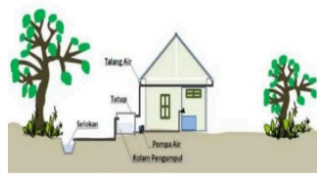
Trotoar ini dapat menahan air dalam jumlah yang cukup besar dan dengan demikian mengurangi limpasan, terutama selama curah hujan kecil. Bergantung pada bahan pengisi dan kedalaman bahan pengisi, biasanya perkerasan penahan air dapat menahan sekitar 15 kg/m² air hujan (Yamagata et al., 2008). Kapasitas penahan air kering dapat sepenuhnya menyerap curah hujan dengan kedalaman 1,5 cm tanpa menghasilkan limpasan (Bao et al., 2019). Kedalaman curah hujan yang lebih besar mengalir ke dasar atau menghasilkan limpasan ketika dasar dan tanah dasar telah jenuh. Trotoar penahan air dengan demikian juga memiliki kapasitas terbatas untuk mengurangi risiko banjir perkotaan.



Gambar 2.3. Trotoar Penahan Air

2.17.3. Barel Air Hujan (Rainwater Barrels)

Gentong hujan adalah ruangan kecil yang dipasang di dekat bangunan pribadi untuk mengumpulkan air hujan dari saluran pembuangan atap untuk penggunaan yang tidak dapat diminum di kemudian hari (Gambar 2.4) (Nachshon et al., 2016).



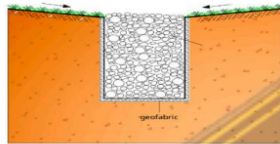
Gambar 2.4. Tong hujan dekat bangunan, tampung air hujan dari pipa limpahan dialirkan ke taman hujan dan saluran pembuangan

136
Tong hujan 189 liter yang digunakan untuk menampung air hujan dari atap seluas 186 m² cukup untuk mengairi 14 m² taman di Cleveland (OH, AS), mengurangi 1,4–3,2% limpasan tahunan dari atap. Demikian pula model dipelajari oleh Litofsky dan Jennings (Litofsky & Jennings, 2014) menemukan bahwa gentong hujan 235 L dapat mengurangi limpasan 3–44% dari atap tradisional, bergantung pada cuaca setempat dan kedalaman curah hujan. Untuk curah hujan kecil, semua air hujan akan disimpan dalam tong kosong. Tapi tong air hujan, setelah diisi, tidak banyak mengurangi limpasan yang berlebihan dan menyimpan air hujan di curah hujan berikutnya (Summerville, 2019). Selain itu, seringkali pemilik rumah dituntut untuk mengosongkan tong secara rutin untuk mengembalikan retensi air pada tong (Jennings et al., 2013). Oleh karena itu, penggunaan tong hujan ditantang tidak hanya oleh ukuran tong tetapi juga oleh partisipasi pemilik rumah (Jarden et al., 2016). (Gao et al., 2016) menemukan bahwa orang yang sadar akan konservasi air hujan lebih bersedia mengadopsi tong hujan

2.17.4. Parit Infiltrasi (Infiltration Trenches)

Parit resapan, disebut juga parit resapan atau parit perkolasi, adalah saluran yang diisi dengan batu atau pecahan batu untuk menyimpan air hujan (Gambar 2.5) (Chahar et al., 2012). Rongga batuan dan bebatuan menahan air hujan untuk sementara, secara bertahap meresap melalui antar muka tanah-batuan. Karena rongga batuan terbatas, parit resapan biasanya menyebabkan luapan jika terjadi hujan lebat. Apakah air di parit dapat sepenuhnya dievakuasi sebelum hujan deras berikutnya tergantung pada konduktivitas hidrologi tanah dan kedalaman air tanah.

Parit infiltrasi layak untuk daerah lapisan tanah sangat permeabel dan permukaan air tanah dan batuan dasar berada beberapa meter di bawah dasar parit (Locatelli, Mark, et al., 2015). Untuk menjaga permeabilitas tanah di bawahnya, limpasan air hujan harus diolah terlebih dahulu dengan sengkedan (Gambar 6), melalui kolam pengendapan sebelum memasuki parit, atau melalui pipa underdrain yang membawa air hujan ke dalam parit. Jika partikel halus dan pemukiman tidak dihindarkan dari parit, terutama selama konstruksi, akan terjadi penyumbatan permanen. Warnaars et al. (Warnaars et al., 1999) memantau jumlah limpasan parit infiltrasi di daerah perkotaan selama sekitar 3 tahun dan menemukan bahwa sedikit sumbatan telah menurunkan infiltrasi parit. Hasil serupa dilaporkan oleh (Siriwardene et al., 2007)



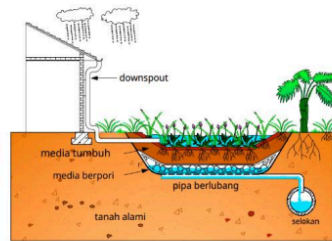
Gambar 2.5. Parit resapan diisi batu dan kerikil untuk menahan limpasan untuk infiltrasi

2.17.5. Bioretensi (Bioretention)

a. Taman Hujan (Rain Gardens)

Kebun hujan, atau area bioretensi atau biofilter, diadopsi di lahan publik dan pribadi di daerah perkotaan untuk mengurangi volume air hujan, untuk mengurangi aliran puncak, dan untuk menginfiltrasi air hujan yang masuk ke pipa saluran pembuangan lokal tanpa perawatan (H. Yang et al., 2013) (Amur et al., 2020). Proses ini mengurangi limpasan lokal, menurunkan debit aliran puncak, dan mengisi ulang air tanah lokal. (Dietz & Clausen, 2005) membangun taman hujan yang terdiri dari tanah yang dapat ditembus air sedalam 0,6 m dengan dasar pipa berlubang menemukan bahwa hanya 0,8% aliran masuk meninggalkan kebun sebagai luapan, yang berarti sebagian besar aliran masuk (99,2%) akhirnya dibuang sebagai aliran bawah permukaan (Dietz & Clausen, 2005). Performa hidrologi taman hujan sebenarnya juga bergantung pada iklim setempat (Cooper, 2010) dan desain taman (H. Yang et al., 2009). Sementara taman hujan mempertahankan

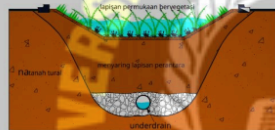
jumlah air yang cukup besar dan mengurangi risiko luapan, pengurangannya kecil pada hujan lebat. Oleh karena itu, taman hujan memiliki kapasitas yang terbatas untuk mengurangi banjir perkotaan (Autixier et al., 2014).



Gambar 2.6. Taman hujan mengganti tanah alami dengan media pertumbuhan vegetasi, yang menahan dan menyaring air hujan

b. Sengkedan (Swales)

Sengkedan, juga disebut bioswales, cekungan bioretensi, dan selokan ekologi, adalah tanah galian yang ditimbun kembali dengan lapisan permukaan bervegetasi dan lapisan perantara penyaring pada tanah alami untuk menampung air hujan untuk infiltrasi berikutnya (Gambar 2.7) (Khadka et al., 2020).



Gambar 2.7. Sengkedan adalah lapisan vegetasi yang tertekan di atas lapisan perantara filter pada tanah alami yang permeable untuk menampung air hujan untuk mendorong infiltrasi.

Total debit musiman dari sengkedan dengan pipa berlubang underdrain adalah 2,7–13 kali lebih rendah daripada debit dari sengkedan tanpa underdrain. Sebuah sengkedan dengan lapisan perantara filter yang tebal bekerja lebih baik dalam redaman aliran puncak dan pengurangan limpasan. Retensi dan infiltrasi lapisan filter harus dioptimalkan untuk menahan air dan menghindari luapan secara

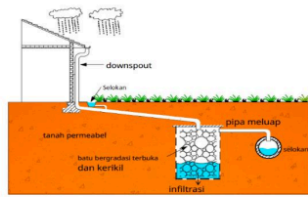
bersamaan (L. Zhang et al., 2018). Sementara sengkedan dapat sepenuhnya mencegah air hujan selama curah hujan kecil atau sedang, luapan tidak dapat dihindari di bawah curah hujan yang deras dan terus-menerus (Gülbaz, 2017). Jumlah luapan berkurang ketika zona penyimpanan air internal meningkat [144]. Jumlah ini juga bergantung pada durasi curah hujan dan intensitas curah hujan serta kapasitas drainase tanah di bawahnya (Barber et al., 2003).

Berbeda dengan parit infiltrasi non-vegetasi yang cenderung tersumbat secara permanen akibat pengendapan partikel halus yang terbawa air hujan (Le Coustumer et al., 2009), filter bio-retensi cenderung tersumbat sepenuhnya karena akar bervegetasi menyediakan saluran untuk infiltrasi air (Bergman et al., 2011). Temuan serupa dilaporkan oleh Dechesne et al. (Dechesne et al., 2005), yang menemukan sengkedan masih memiliki infiltrasi yang baik setelah 20 tahun beroperasi. Risiko penyumbatan dapat dikurangi dengan memasang check dam di hulu sengkedan untuk memperlambat kecepatan limpasan dan memungkinkan sedimen mengendap (Winston et al., 2019)

2.18. LID Bawah Tanah

2.18.1. Soakaways

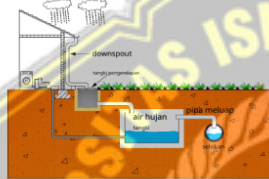
Soakaways adalah ruang bawah tanah berskala kecil yang diisi dengan kerikil dan batu, yang menahan air hujan untuk infiltrasi selanjutnya ke tanah lokal (Pratt, 1996). Sehubungan dengan penahanan air dan infiltrasi, perendaman mirip dengan parit infiltrasi. Namun, perendaman terkubur di bawah tanah. Perendaman sering dikombinasikan dengan pipa untuk mengalirkan air masuk yang berlebihan ke selokan lokal untuk menghindari banjir selama curah hujan ekstrim. Dengan melepaskan air hujan yang ditahan secara perlahan ke tanah setempat, perendaman mengurangi volume limpasan lokal dan melemahkan aliran puncak. Perendaman sering direkomendasikan untuk daerah perkotaan dengan kepadatan tinggi.



Gambar 2.8. Perendaman adalah sel bawah tanah berskala kecil yang diisi dengan kerikil dan batu untuk menyimpan air hujan untuk infiltrasi

2.18.2. Tank Bawah Tanah (Underground Tanks)

Bergantung pada sumber limpasan, tangki dapat ditempatkan di permukaan tanah atau di bawah tanah selama air hujan dapat masuk ke dalam tangki melalui aliran gravitasi. Jika tangki ditempatkan di permukaan tanah (Jones & Hunt, 2010) dan luapan dari tangki dapat dihubungkan ke taman hujan untuk infiltrasi, (Gambar 2.9).



Gambar 2.9. Tangki bawah tanah menyimpan air hujan dari permukaan tersegel di atas untuk penggunaan selanjutnya yang tidak dapat diminum. Luapan dari tangki dialirkan ke selokan lokal.

Jika penggunaan air selama jeda antara dua curah hujan lebat yang berdekatan tidak dapat mengosongkan tangki, tangki akan gagal diatur ulang untuk menyimpan air hujan pada hujan lebat berikutnya (Palla et al., 2012). Pada saat hujan deras, tangki air hujan memiliki kapasitas yang terbatas untuk mengurangi aliran puncak limpasan (Freni & Liuzzo, 2019).

2.19. Sistem Penangkapan Air Hujan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

5 Memanen air hujan merupakan bentuk bagian dari drainase yang ramah lingkungan. Air hujan dapat ditampung untuk dipakai kebutuhan sehari - hari. Manfaat dari memanen air hujan adalah untuk meminimalisir kekeringan, 5 kebanjiran, bahkan masalah lingkungan. Hal ini dilakukan untuk mengatasi tekanan akan kebutuhan air yang semakin meningkat sebagai akibat dari faktor iklim, lingkungan, dan perubahan sosial masyarakat. Pemanenan atau pemafaatan air hujan merupakan serangkaian kegiatan mengumpulkan, menggunakan dan atau meresapkan air hujan kedalam tanah. Air hujan merupakan salah satu sumber air yang dapat diakses secara langsung yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk menambah sumber pasokan air lainnya di daerah perkotaan. Pemanenan air hujan (Rainwater Harvesting) biasanya mudah diterapkan, memiliki biaya pelaksanaan dan perawatan yang relatif rendah, dan operasinya tidak memerlukan pelatihan khusus.

7 Sistem kotak infiltrasi adalah sistem penanganan drainase perkotaan dengan cara melayani dari pengaruh limpasan air hujan termasuk prasarana jalan, yang terdiri dari kotak infiltrasi dan sumur resapan sebagai tampungan limpasan, saluran drainase perkotaan sebagai tangkapan limpasan hujan serta saluran berbentuk pipa sebagai penghubung kotak infiltrasi dan sumur resapan.

2.20. Kerangka Berfikir

Perubahan tutupan lahan, terbangun perkerasan jalan, permukaan kedap air lainnya yang terkait dengan pergerakan kendaraan, termasuk jalan masuk dan tempat parkir berkontribusi hingga 70% dari tanah kedap air merupakan sumber peningkatan beban drainase (Barbosa et al., 2012).

Tinjauan artikel mengulas secara singkat strategi yang dilakukan untuk mengurangi banjir perkotaan, Strategi penanganan banjir dapat dikategorikan menjadi strategi di atas tanah, termasuk atap bervegetasi dan tidak bervegetasi, strategi di permukaan tanah, termasuk perkerasan permeabel, perkerasan penahan air, pepohonan, bioretensi, parit infiltrasi, strategi di bawah tanah, termasuk perendaman dan unit penyimpanan air bawah tanah lainnya. Tong air dan tangki air

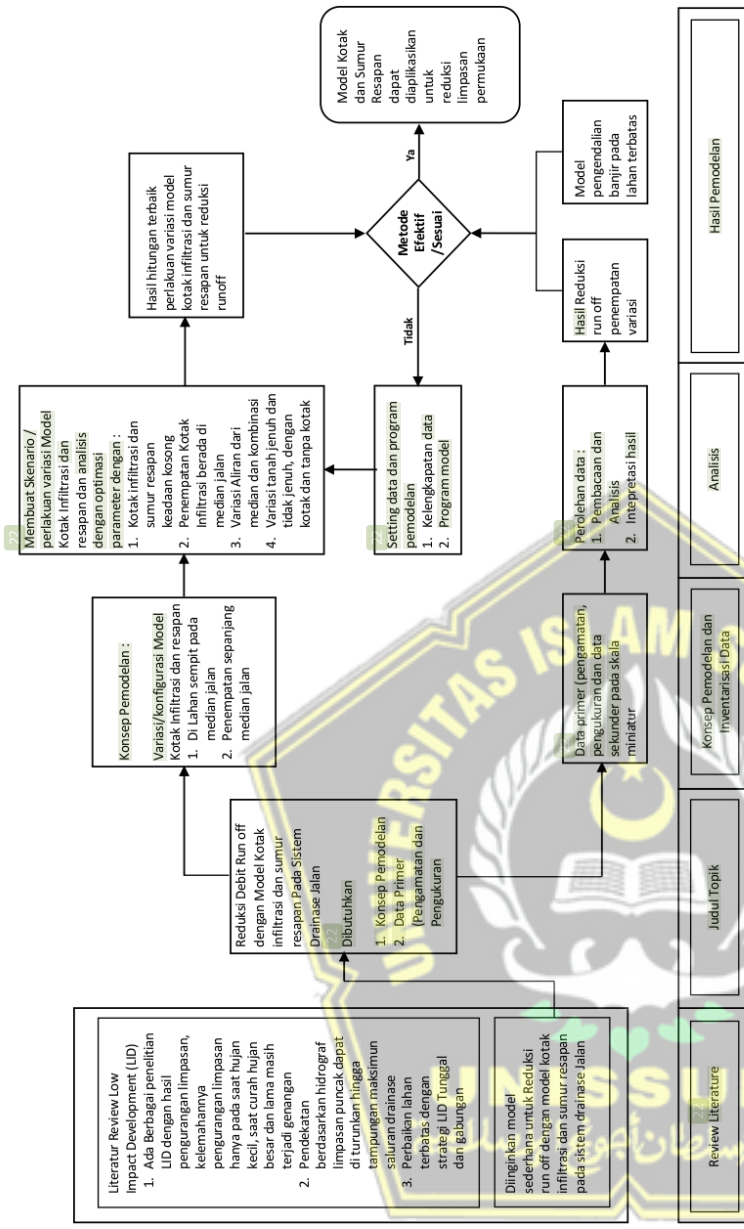
digunakan untuk memanen air hujan untuk keperluan tidak dapat diminum tetapi harus sering dikosongkan oleh pemilik rumah untuk terus mengatur ulang.

Pada umumnya permasalahan LID perkotaan menghasilkan berbagai strategi yang dilakukan secara efektif menahan, menyimpan dan atau menyusupkan air hujan selama curah hujan kecil, strategis tersebut menyebabkan luapan besar selama hujan lebat. Karena banjir perkotaan terjadi ketika luapan dari berbagai kawasan yang berbeda menumpuk hingga melebihi daya dukung saluran pembuangan lokal, strategi saat ini yang dilakukan secara utama tidak cukup untuk mengurangi banjir perkotaan.

Oleh karena itu diperlukan suatu model yang dapat menampung dan dapat meresapkan air limpasan pada saat terjadi hujan deras. Penyimpanan di tempat (on site storage) dikembangkan untuk menyimpan air hujan yang jatuh di kawasan itu sendiri (hujan lokal) yang dapat di alirkan pada kotak infiltrasi dan sumur resapan, sebagian mengalir pada saluran konvensional sehingga mengurangi genangan lokal. Kotak infiltrasi dan sumur resapan akan mengatasi limpasan yang tidak dapat dibuang langsung ke saluran karena tidak mampu menampung atau karena adanya pengaruh air balik (back water).

2.21. Hipotesa

Untuk mengurangi banjir perkotaan, jika terjadi hujan deras, aliran puncak harus dikurangi secara substansial dan durasi debit harus diperpanjang secara proporsional. Kajian baru akan berfokus pada pengembangan alat baru yang dapat dikontrol debitnya yang dapat melemahkan aliran puncak jika terjadi hujan lebat dengan memperpanjang durasi debit limpasan. Kotak infiltrasi dan sumur resapan dapat menahan air hujan di sumbernya dan mengalirkannya secara perlahan untuk durasi yang lebih lama daripada durasi hujan adalah pilihan yang paling tepat untuk menurunkan aliran puncak limpasan perkotaan dan mengatur ulang kotak infiltrasi dan sumur resapan secara otomatis. Penelitian yang akan dilakukan studi lebih lanjut diperlukan untuk memahami kinerja hidrologi jangka panjang dari kotak infiltrasi dan sumur resapan.



Gambar 2.10. Kerangka Berfikir

2.22. Rencana Desain

Konsep limpasan air hujan di lakukan dengan menggunakan tangkapan dari drainase perkotaan kemudian dialirkan ke dalam Kotak infiltrasi sebagai tampungan limpasan perkotaan. Debit desain merupakan penjumlahan dari debit total aliran di tambahkan dengan debit buangan rumah tangga,

$$Q_r = Q_{Total\ Aliran} + Q_{Rumah\ Tangga} \dots\dots\dots 2.32$$

Dimana :

Q_r = Debit total ($m^3/detik$)
 $Q_{Total\ Aliran}$ = Debit air hujan ($m^3/detik$)
 $Q_{Rumah\ Tangga}$ = Debit domestik ($m^3/detik$)

koefisien runoff adalah rasio antara aliran permukaan dan curah hujan yang jatuh, Faktor utama yang memengaruhi koefisien adalah laju infiltrasi tanah atau persentase lahan kedap air, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah, dan intensitas hujan. Kotak infiltrasi berbentuk seperti bak penampungan hanya saja terbuat dari bahan plastik, untuk menentukan dimensi kotak tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi perhitungan neraca air, sehingga untuk menentukan volume air hujan yang melimpas dapat dihitung dengan persamaan (2.33). Akumulasi volume tertampung dalam Kotak infiltrasi menggunakan persamaan (2.34), dan sisa volume air dapat dihitung menggunakan persamaan (2.35)

$$Melimpas = P - Tamp \dots\dots\dots 2.33$$

$$Ak = Tamp + S(n - 1) \dots\dots\dots 2.34$$

$$S = Tamp - Tot \dots\dots\dots 2.35$$

Dimana :

$Melimpas$ = Volume hujan yang melimpas (liter)
 P = Jumlah air hujan (liter)
 Tam = Air hujan yang ditampung (liter)
 Ak = Akumulasi volume air yang tertampung pada kotak infiltrasi (liter)
 $S(n - 1)$ = Sisa volume air hujan sebelumnya (liter)
 S = Sisa volume air hujan pada kotak infiltrasi (liter)
 Tot = Total kebutuhan air (liter)

5
 Dari berbagai desain sistem drainase jalan yang berkelanjutan dan diterapkan di beberapa negara, mendasari kami untuk melakukan penelitian dan pengembangan desain sistem drainase jalan yang sesuai dengan kondisi di Kota Cirebon. Rencana Desain dengan Konsep Kotak infiltrasi berada di bawah median jalan, Kotak infiltrasi dapat berfungsi sebagai pengendalian air limpasan permukaan, sebagai tandon air hujan, konservasi air tanah, sebagai air cadangan tumbuhan di atasnya, sistem pengalirannya dari saluran jalan melalui pipa menuju kotak infiltrasi dan di lanjutkan masuk sumur resapan dengan pipa.



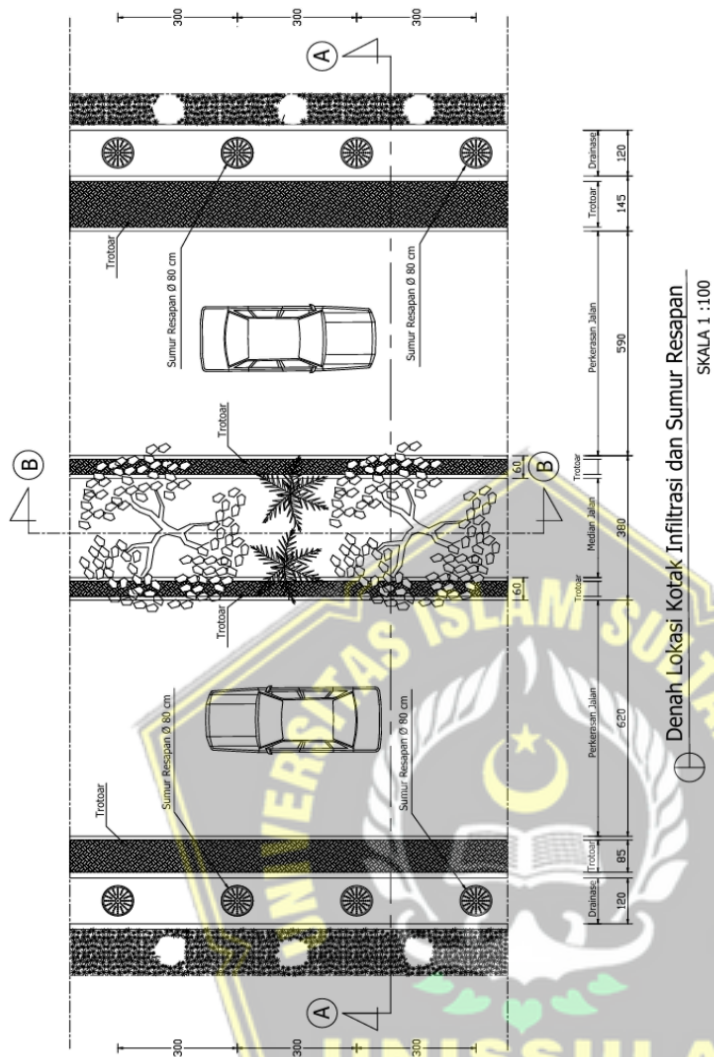
Gambar 2.11. Lokasi Jalan dr Cipto Kota Cirebon



Gambar 2.12. Lokasi Jalan Brigjen Soedarsono kota Cirebon



Gambar 2.13. Lokasi Jalan Terusan Pemuda kota Cirebon

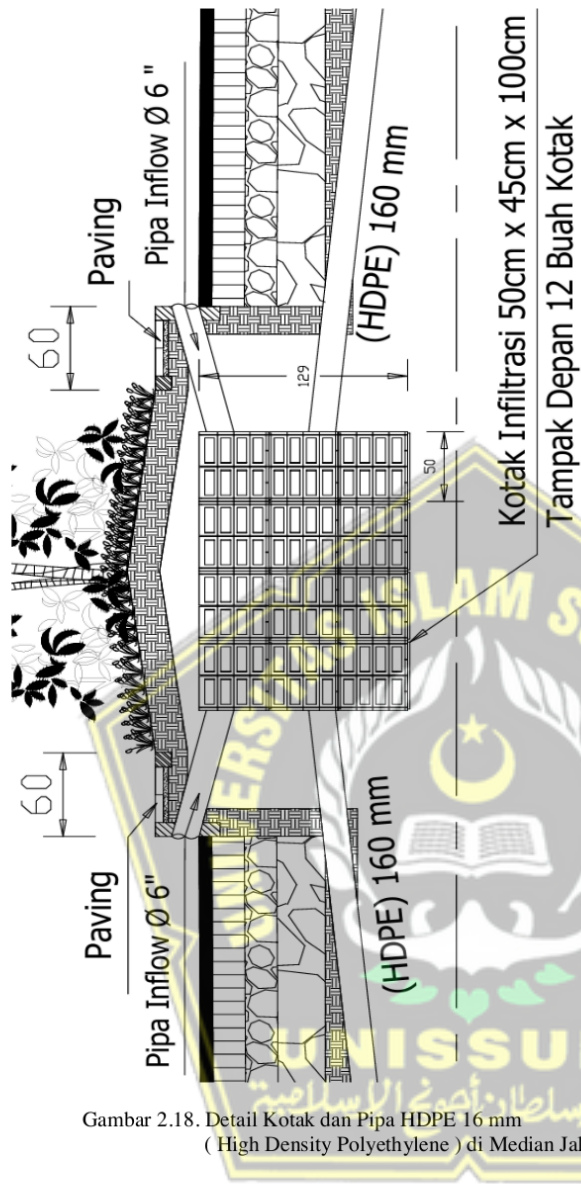


Gambar 2.14. Denah Lokasi Kotak infiltrasi dan Sumur Resapan

Denah Lokasi Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan
SKALA 1 : 100



42



Gambar 2.18. Detail Kotak dan Pipa HDPE 16 mm
(High Density Polyethylene) di Median Jalan

2.23. Penelitian Terdahulu Yang Sejenis

Hujan mencapai permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah dan kembali ke udara melalui evaporasi maupun evapotranspirasi. Perkembangan kota merubah tutupan alamiah dengan jalan, trotoar, atap serta permukaan kedap lainnya, sehingga membatasi infiltrasi dan evapotranspirasi alami yang mengubah curah hujan menjadi limpasan (Helmi et al., 2019; Osheen & Singh, 2019). Limpasan lahan terbuka perkotaan meningkat karena kegiatan konstruksi yang memadatkan tanah menjadikan permukaan kedap air (Afonso et al., 2019, 2020). Pada curah hujan yang tinggi, fasilitas ini tidak dapat menampung aliran puncak yang mengalir keluar dari berbagai permukaan tertutup, sehingga menyebabkan luapan dan terjadi banjir (Amaguchi & Kawamura, 2016). Dari uraian diatas maka penulis meninjau permasalahan perkotaan akibat limpasan yang terjadi pada saat hujan sehingga terjadi luapan dan banjir. Adapun penelitian yang telah dilakukan sebelumnya seperti pada tabel 2.5. di bawah :

Tabel 2.5. Ringkasan Tinjauan Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Model LID	Hasil
(Li, F. et al., 2019)	Detention pond (DP)	Aliran puncak dapat dikurangi hingga 92%
(Palermo et al., 2020)	Porous Pavements (PV) Vegetative roof (GR)	Limpasan permukaan berkurang 45,8% dan aliran puncak berkurang 54,3%
(Y. Chen et al., 2021)	Porous Pavements (PV) Retention Tank Rain Barrel (RB)	Limpasan permukaan berkurang 46,09% dan aliran puncak berkurang 11,45%
(P. Zhang et al., 2020)	Kombinasi GR, RB, SW Vegetative roof (GR) Retention Tank Rain Barrel (RB) Bioretention swales (SW)	Limpasan permukaan berkurang 48,59% dan aliran puncak berkurang 67,29%
(S. Du et al., 2019)	Rain Garden (RG)	volume banjir berkurang 23,6% hingga 98,4% dan genangan dapat dikurangi dengan kisaran 26,1 - 82,4% serta pengurangan ketinggian banjir 0,1 hingga 0,2 m
(Ghodsi et al., 2020)	Filter Strips/Vegetated swaled (VS) Bioretention pond/cell (BRC) Porous Pavements (PV) Infiltration trench (IT)	Banjir dapat dikurangi hingga 18%
(Goncalves, 2018)	RG, IT, DP, DP+ RG, DP+ IT Rain Garden (RG) Infiltration trench (IT)	LID terpusat, 30% dan 75% dapat dikurangi volume banjir

	Detention pond (DP) Rain Garden (RG)	
(Hu et al., 2018)	Porous Pavements (PV)	1–40% pengurangan banjir, 7–43% banjir puncak yang melandai
(Eckart, 2018)	Retention Tank Rain Barrel (RB) Porous Pavements (PV) Bioretention pond/cell (BRC) Infiltration trench (IT)	LID terbaik dalam hal perampingan aliran batang dan efisiensi biaya adalah saluran resapan
(Wu, 2018)	Porosity pavement (PV) Vegetative roof (GR)	Banjir berkurang 3–29%, luas banjir berkurang 7–55%, waktu banjir 0–43%
(Zhu et al., 2019)	PV, BRC Porous Pavements (PV) Bioretention pond/cell (BRC)	Banjir dapat dikendalikan dengan PV dan BRC, volume banjir dibatasi untuk pengurangan PV
(C. L. Huang et al., 2018)	Porous Pavements (PV) Bioretention pond/cell (BRC) Infiltration trench (IT) Retention Tank Rain Barrel (RB) Filter Strips/Vegetated swaled (VS) Vegetative roof (GR) Tree Boxes (TB)	Banjir dapat diredam dengan berbagai kondisi tingkat lokal 5,75–29,80% dan 12,50–20% sedangkan untuk skala sub DAS 9,52%–23,49% dan 12,50%–37,5%
(Hu, 2017)	Rainwater Harvesting (RH) Porous Pavements (PV)	Penekanan bahaya banjir 6 sd 80%, kawasan tergenang dapat diatasi 2 sd 17%
(Juan et al., 2017)	RB, SW, GR, RG Retention Tank Rain Barrel (RB) Bioretention swales (SW) Vegetative roof (GR) Rain Garden (RG)	terjadi penurunan limpasan perkotaan dan debit puncak yang melandai
(Kong et al., 2017)	Vegetative roof (GR) Porous Pavements (PV) Vegetated swaled (VS) Rain Garden (RG)	Langkah tepat mengatasi permasalahan banjir, LID solusinya
(J. Li et al., 2017)	Bioretention pond/cell (BRC) Retention Tank Rain Barrel (RB) Bioretention swales (SW) Green roof or eco-roof (GR) Porous Pavements (PV)	Penanganan permasalahan banjir yang paling efektif adalah LID dengan menggunakan beberapa kombinasi diurutkan sebagai BRC > RB > SW > GR > PV. BRC dan GR adalah kombinasi LID yang optimal
(Ahmed et al., 2017)	Infiltration trench (IT)	Pengurangan limpasan permukaan 17,5% - 20,95%
(Zhu, 2017)	Bioretention pond/cell (BRC) Porous Pavements (PV) Infiltration trench (IT) Retention Tank Rain Barrel (RB) Vegetated swaled (VS) Rain Garden (RG) Vegetative roof (GR)	hujan deras menyebabkan banjir, LID merupakan alternatif paling efektif dalam mengatasi berkurangnya limpasan dan debit puncak saat hujan

(Tredway, 2017)	Porous Pavements (PV) Rain Garden (RG) Steam Naturalization (SN)	Limpasan PV yang digunakan dapat dikurangi sebesar 18,8%, penggunaan RG 4,7%, penggunaan SN 12,3%, kombinasi LID 32,7%
(Ahiablame, 2016)	Porous Pavements (PV) Rain Garden (RG) Retention Tank Rain Barrel (RB)	Mengurangi limpasan permukaan sebesar 3-47%
(Shannak et al., 2014)	Rainwater Harvesting (RH)	Limpasan permukaan secara keseluruhan dapat dikurangi hingga 45%
(J. M. Lee et al., 2013)	Infiltration trench (IT) Vegetated swaled (VS) Vegetative roof (GR) Porous Pavements (PV)	Mengurangi aliran puncak sebesar 6-16%
(H. peng Qin et al., 2013)	Bioretention swales or green swales (SW) Porous Pavements (PV) Vegetative roof (GR)	sangat efektif dalam mengatasi puncak limpasan
(Alfredo et al., 2010)	Vegetative roof (GR)	Mengurangi limpasan permukaan saat hujan lebat, aliran puncak dapat dikurangi sebesar 30 hingga 78%
(Dreelin et al., 2006)	Porous Pavements (PV)	Hingga 93% dapat mengurangi limpasan permukaan dengan metode LID untuk strategi PV
(Ahiablame et al., 2013)	Retention Tank Rain Barrel (RB) Porous Pavements (PV)	hingga 2-12% dapat mengurangi limpasan permukaan
(Hu, 2017)	Porous Pavements (PV) Rainwater Harvesting (RH)	Luas banjir berkurang 60-80%, genangan berkurang 2-17%
(L. Zhang et al., 2016)	Rainwater Harvesting (RH)	Mengurangi banjir 0,6 hingga 36,8%
(Schmitter et al., 2016)	Vegetative roof (GR)	Dampak positif yang signifikan terhadap perlindungan banjir
(Son, 2017)	Combination LID	Saat hujan deras, LID masih mampu menampung limpasan permukaan
(Sun et al., 2014)	Porous Pavements (PV)	LID sangat cocok saat hujan ringan
(Abi Aad et al., 2010)	Rainwater storage tank (RB) Vegetative rain garden (RG)	pengurangan limpasan sebesar 38%
(Autixier et al., 2014)	Vegetative rain garden (RG)	Pengurangan luapan saluran sebesar 31%. Mengurangi aliran puncak 26% Pengurangan limpasan 19,4 %
(Banting et al., 2005)	Vegetative roof (GR)	Pengurangan luapan saluran sebesar 18%. Pengurangan limpasan sebesar 65%.
(Pickering et al., 2012)	Rainwater storage tank (RB)	Pengurangan limpasan 33%
(Chaosakul et al., 2013)	Rainwater storage tank (RB) Bio-retention cells	Pengurangan luapan saluran 41% Pengurangan limpasan sebesar 40%.
(J. Chen et al., 2019)	Porous pavement (PV) Vegetative rain garden (RG), Vegetative roof (GR), Rainwater storage tank (RB)	Pengurangan luapan saluran 0,2-23,5%
(Eulogi et al., 2022)	Permeable pavements	Pengurangan luapan saluran 11-45%
(Foster, 2011)	Vegetative roof (GR) Porous pavement (PV) Rainwater storage tank (RB),	Pengurangan luapan saluran 22-36% Mengurangi aliran puncak 5-36% pengurangan limpasan sebesar 50-60%.

	Vegetative rain garden (RG), Vegetated swales (VS), Tree trenches (TT).	
(Yazdanfar & Sharma, 2015)	Vegetative rain garden (RG), Vegetated swales (VS), Infiltration ditch (IT) Vegetative roof (GR) Soaking drainage (SD)	Pengurangan luapan saluran 20%
(Chaosakul et al., 2013)	Rainwater storage tank (RB) Tree trenches (TT), Vegetative roof (GR)	Saluran luapan dapat teratasi 6,3%
(Locatelli, Gabriel, et al., 2015)	Porous pavement (PV) Vegetative rain garden (RG), Rainwater storage tank (RB), Vegetated swales (VS), Infiltration ditch (IT) Rainwater detention pond (DP)	Pengurangan luapan saluran 47.02 %
(Joshi, 2021)	Porous pavement (PV) Vegetative rain garden (RG), Rainwater storage tank (RB), Vegetative roof (GR)	Pengurangan luapan saluran 50–92,3%
(Overflows, 2006)	Vegetative roof (GR) Vegetative rain garden (RG) Vegetated swales (VS), Rainwater storage tank (RB) Porous pavement (PV)	Pengurangan luapan saluran 12–38% Mengurangi aliran puncak 5–36% pengurangan limpasan sebesar 26%.
(Gong et al., 2019)	Rainwater storage tank (RB) Bio-retention cells, Infiltration ditch (IT)	Pengurangan luapan saluran 15,5% Mengurangi aliran puncak 16,2%
(Lucas & Sample, 2015)	Bio-retention cells, Vegetative roof (GR) Infiltration ditch (IT) Porous pavement (PV)	Luapan saluran berkurang 74%, Mengurangi aliran puncak 53% Pengurangan limpasan sebesar 65,1%.
(No & Code, 2011) MMSD, 2011	Vegetative rain garden (RG) Rainwater storage tank (RB) Permeable pavements	Pengurangan luapan saluran 33% Mengurangi aliran puncak 27% Pengurangan limpasan sebesar 50%.
(Montalto et al., 2007)	Vegetative roof (GR) Porous pavement (PV)	Mengurangi aliran puncak sebesar 40%
(Nasrin et al., 2016)	Rainwater storage tank (RB)	Pengurangan luapan saluran 33%
(Alyaseri & Zhou, 2016)	Bio-retention cells, Porous pavement (PV) Vegetative roof (GR)	Limpasan berkurang sebesar 37%.
(Pickering et al., 2012)	Porous pavement (PV) Bio-retention cells, Tree trenches (TT),	Pengurangan luapan saluran 90,3% Pengurangan limpasan sebesar 84,8%.
(Ptomey, 2013)	Vegetative rain garden (RG) Rainwater storage tank (RB) Porous pavement (PV) Vegetative roof (GR), Vegetated swales (VS), Infiltration ditch (IT) Rainwater detention pond (DP)	Pengurangan limpahan saluran sebesar 54%. Pengurangan limpasan sebesar 20%.

(Riechel, 2020)	Vegetative roof (GR), Tree trenches (TT), Rainwater harvesting (RH)	Luapan saluran berkurang 45–58%, Mengurangi aliran puncak 31–48% Pengurangan limpasan 28–39%
(Roldin et al., 2012)	Soaking drainage	Pengurangan luapan saluran sebesar 55%.
(Roseboro, 2021)	Porous pavement (PV)	Pengurangan luapan saluran 2–31%
(Richmond, 2014)	Vegetative rain garden (RG)	Pengurangan limpahan saluran sebesar 85%. Mengurangi aliran puncak 49%
(Shamsi, 2012)	Vegetative rain garden (RG)	Pengurangan luapan saluran 3,5%
(Gong et al., 2019)	Vegetative roof (GR), Porous pavement (PV)	Pengurangan luapan saluran sebesar 61%. Pengurangan limpasan sebesar 50%.
(Camargo Valero et al., 2010)	Vegetative roof (GR), soaking drainage (SD) Porous pavement (PV)	Mengurangi luapan saluran 54%
(Development & Water, 2010)	Vegetative rain garden (RG), Rainwater storage tank (RB), Porous pavement (PV) Vegetative roof (GR),	Luapan saluran berkurang sebesar 83%.
(L. Talebi & Pitt, 2018)	Vegetative roof (GR), Porous pavement (PV), Rainwater storage tank (RB), Bioretention	Pengurangan limpasan sebesar 20–80%.
(Tao et al., 2017)	Infiltration ditch (IT), Tree trenches (TT), Stormwater bumpout (SB)	Pengurangan luapan saluran 95,85%
(Villarreal & Bengtsson, 2004)	Vegetative roof (GR), Rainwater detention pond (DP)	Limpasan berkurang 21%
(Wise et al., 2010)	Rainwater storage tank (RB), Vegetative rain garden (RG), Vegetative roof (GR), Vegetated swales (VS).	Limpasan berkurang 50%.
(Devianti, Jayanti S.R., 2020)	Biopori	menurunkan limpasan permukaan sebesar 26,50%
(Kusumawati W & Arofiati F, 2020)	Biopori	pengegasan banjir yang mampu memberdayakan masyarakat dan meningkatkan rasa aman
(Safriani et al., 2020)	Biopori	risiko bencana banjir berpotensi dapat diatasi dengan menggunakan Biopori
(Pratiwi et al., 2021)	Biopori	menginstal biopori infiltrasi lubang untuk menyimpan air dan mengurangi banjir
(Siswanto et al., 2010)	Sumur Resapan	laju infiltrasi yang dihitung dengan metode horton untuk kedalaman 1m dan 1,5m adalah 10,44 cm/5menit atau 125,28 cm/jam, dan 14,72 cm/5 menit atau 176,64 cm/jam.
(Wuryanta, 2022)	Biopori	Koefisien limpasan rata-rata 38,57%.
(Sanitya & Burhanudin, 2013)	Biopori	Jumlah lubang resapan biopori yang tepat Bagian Tengah berjumlah 945
(Al Dianty M, Arbaningrum A, 2022)	Biopori	mereduksi beban drainase sebesar 33.48%.

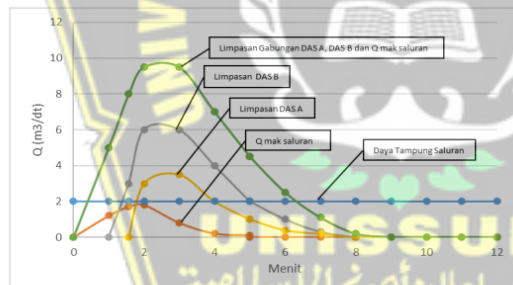
(Basuki Setiyo Budi, 2013)	Biopori	Beban infiltrasi akan meningkat seiring dengan bertambahnya diameter lubang Biopori infiltrasi. 128
(Ikhwan & Franchitika, 2021)	Biopori	mengatasi masalah air limbah sebagian akan dikembalikan menjadi air tanah
(Rohyanti et al., 2015)	Biopori	potensi banjir sebesar 47.963,01 m ³ . Diperlukan 48.454 Lubang Biopori
(Pandeiro & Thomas, 2019)		laju resapan berpengaruh terhadap tingkat kedalaman, dan jenis tanah.
(Ashabie & Masjud, 2022)	Biopori	zona ruang terbuka seluas 13.600 m ² dan, infiltrasi tahunan 0,97 m ³ /min yang cukup mengurangi genangan air
(Sindagamanik, 2021)	Biopori	pengaruh jarak lubang terhadap debit infiltrasi, bisa jadi terbukti dari hasil analisa data penelitian, untuk debit aliran 400 cm ³ /detik Qf = 35,1 cm ³ /detik. untuk jarak lubang 16 cm); Qf = 31,9cm ³ / s (untuk menggambarkan lubang 32 cm); dan Qf = 3,13cm ³ /s (untuk jarak lubang 16 cm)
(Amrullah, 2022)	Sumur Resapan	kemampuan menampung air hujan sebesar 1,2 meter kubik dan kemampuan menyerap air sebesar 0,9 liter per detik, mampu menampung curah hujan sebesar 120 mm sehari.
(Duppa, 2017)	Sumur Resapan	upaya menyimpan air pada musim hujan melalui teknologi resapan buatan merupakan cara yang efektif, untuk menekan besaran debit 61
(Bungana W & Sir, 2016)	Sumur Resapan	Debit banjir rumah tipe 8x10 = 0,0014 m ³ /detik, ada sumur resapan berkurang menjadi 0,0007 m ³ /detik, sehingga tereduksi banjir sebesar 50%
(Prasetya, n.d.)	Sumur Resapan	dimensi ideal sumur resapan adalah dengan menggunakan radius sumur (R) sebesar 1. 25m
(Amrullah, 2022)	Sumur Resapan	wadah resapan air hujan ini mampu menampung air hujan sekaligus menyerap air sehingga dapat menjadi salah satu alternatif teknologi pencegahan banjir
(Belladona et al., 2018)	Sumur Resapan	Satu sumur efektif digunakan untuk 2 rumah dengan pengurangan sebesar 0,2218 m ³ /s dengan waktu pengurangan 1,297 menit.

Perkembangan kota menyebabkan peningkatan limpasan, dampak parameter hidrologi karena berkurangnya infiltrasi tanah dan akibatnya meningkatkan volume limpasan (Helmi et al., 2019). Permukaan beton dan aspal yang kedap air menutup lapisan tanah (Osheen & Singh, 2019). Meningkatkan infiltrasi, mengisi persediaan air tanah dengan infrastruktur hijau (Environmental, 2019). Penggunaan beton permeabel, mengurangi kerusakan di daerah hujan dan mengumpulkan air hujan (Qylurqphqw et al., 2020). Pengurangan limpasan dari kolam resapan, sengkedan resapan, tong hujan, dan ecopond, (Lin, 2018). Sistem

retensi infiltrasi kerikil memberikan redaman dari kejadian volume limpasan tahunan, (Low et al., 2015). Permukaan yang tembus air dan kedap air yaitu aliran dinamis dan proses infiltrasi sel bioretensi jalan, (Low & Development, 2018). Tangki pemanen limpasan atap yang ditangkap dan diinfiltrasi oleh cekungan di jalan dan kolam retensi, untuk menangkap kelebihan limpasan (Korgaonkar et al., 2021), mengidentifikasi daerah infiltrasi dan penyimpanan layak (Afonso et al., 2019). Fasilitas resapan memiliki laju reduksi limpasan permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan fasilitas tampungan (Bai et al., 2019).

Penggunaan model LID sangat efektif dalam mengurangi limpasan permukaan dan mengurangi puncak banjir (Misni & Shahfuddin, 2017). Beberapa penelitian telah menerapkan kombinasi LID berbeda yang menunjukkan kinerja lebih baik dibandingkan hanya menerapkan satu strategi LID. (Hernes et al., 2020). Begitu pula pada penerapan LID dengan beberapa kombinasi yang bisa digunakan seperti (Joshi, 2021) bahwa pada lokasi pelaksanaan LID harus dilakukan identifikasi kebutuhan tunggal atau peruntukan kombinasi (W. Yang et al., 2020)

Untuk menemukan solusi terhadap banjir perkotaan, perlu dipahami bahwa limpasan dari permukaan DAS A dan DAS B bergabung bersama dan menciptakan gabungan aliran puncak yang melampaui daya dukung saluran pembuangan lokal sehingga menghasilkan aliran puncak yang jauh lebih besar daripada daya dukung saluran pembuangan. Penurunan aliran puncak yang signifikan mengakibatkan perubahan pada reservoir saluran pembuangan lokal sesuai dengan kapasitasnya (Y. Qin et al., 2019).



Gambar 2.19. Hubungan Gabungan Hidrograf Limpasan dengan Kapasitas Saluran

Penerapan hidrograf diterapkan dalam pemodelan aliran puncak penurunan limpasan perkotaan ("Strom Water Infiltration for Peak Flow Control By Bruce K. Ferguson," 1995). Perpanjangan durasi debit berdampak pada perubahan aliran puncak dengan membuat kemiringan hidrograf, keinginan untuk menurunkan aliran puncak sebesar 50% maka durasi hingga kosong harus ditingkatkan dua kali lipat. Model strategi LID dengan berbagai kombinasi yang dilakukan, durasi debit yang diperpanjang masih belum mampu menurunkan hidrograf saat terjadi hujan deras secara tiba-tiba.

Perendamannya menampung volume yang cukup besar kemudian dibuang ke tanah setempat (Roldin et al., 2013), (Locatelli, Gabriel, et al., 2015), Sebagian air yang masuk ke dalam tanah akan tertampung pada pori-pori tanah, jika debit rendaman tidak dapat dikendalikan maka air akan cepat keluar dan mengalir ke cekungan dataran rendah dan menimbulkan banjir. (H. Huang et al., 2018). Oleh karena itu, penelitian yang akan dilakukan fokus pada pengembangan fasilitas baru berupa **KOTAK INFILTRASI** yang dapat mengendalikan debit untuk mengurangi puncak aliran limpasan dengan memperpanjang durasi debit. Strategi tersebut harus secara otomatis mengatur ulang kapasitas redaman debit aliran puncak untuk mengantisipasi hujan lebat berikutnya. Untuk mengurangi banjir perkotaan, dalam kasus hujan deras, aliran puncak harus dikurangi secara substansial dan durasi debit harus diperpanjang secara proporsional. Studi baru yang akan dilakukan berfokus pada metode sistem drainase berkelanjutan dengan pengembangan perangkat baru yang dapat mengontrol debit yang dapat mengurangi aliran puncak jika terjadi hujan deras dengan memperpanjang durasi debit limpasan.

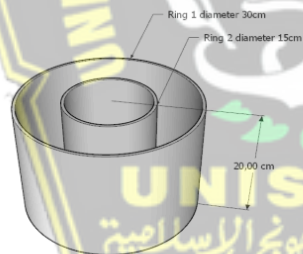
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Infiltrasi

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dan kuantitatif. Penentuan parameter tersebut dengan menggunakan alat infiltrometer yang diukur langsung di lapangan untuk mendapatkan nilai infiltrasi tiap area yang sudah ditentukan. Metode deskriptif adalah metode yang menggunakan gambar atau grafik untuk menjelaskan suatu data, dan metode kuantitatif adalah metode berupa angka yang menggunakan persamaan atau rumus untuk menghasilkan nilai dari suatu hasil terukur.

Bentuk dari ring infiltrometer menggunakan double ring, penggunaan alat ini lebih murah, mudah dipergunakan dan mudah dalam menganalisis datanya sehingga sudah cukup untuk mengetahui kapasitas infiltrasi suatu wilayah dengan tata guna lahan. Double ring infiltrometer memiliki dua buah ring, peruntukan ring yang lebih kecil akan ditempatkan ditengah sedangkan ring yang lebih besar berada di bagian luar, kedua ring memiliki fungsi yang berbeda, ring luar berfungsi mengurangi kemungkinan agar air tidak bergerak secara horizontal dan ring dalam berfungsi untuk mengukur, alat infiltrometer akan ditancapkan ke dalam tanah dan diberi air, fungsi alat ini untuk memastikan bahwa air meresap ke dalam tanah melalui permukaan secara vertikal.



Gambar 3.1. Skema Alat double Ring Infiltrometer

³³ Gambar 3.1. adalah double ring infiltrometer terdiri dari dua ring yang memiliki fungsi berbeda, ring dalam berfungsi sebagai ring pengukur, dan ring luar berfungsi sebagai ring penyangga. Selain itu ring bagian luar juga berfungsi untuk mengurangi pengaruh batas dari tanah agar air tidak dapat menyebar secara lateral dibawah permukaan tanah

¹² 3.1.1. Pengukuran Infiltrasi

Pengukuran laju infiltrasi, pertama ring infiltrometer dimasukkan kedalam tanah dengan kedalaman sekitar 5 cm. Kemudian mistar dipasang pada ring dalam untuk mengukur besar penurunan air yang terjadi. Ring bagian luar kemudian diisi air hingga ketinggian tertentu untuk mengurangi pengaruh aliran lateral yang terjadi selama pengukuran infiltrasi.

Pencatatan penurunan muka air, dilakukan setiap 5 menit, sampai penurunan air pada ring bagian dalam konstan. Laju infiltrasi dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.1 Selanjutnya dilakukan plotting antara waktu (h) sebagai sumbu x dengan laju infiltrasi aktual (mm/jam) sebagai sumbu y, sehingga diperoleh grafik hubungan laju infiltrasi aktual terhadap waktu. Setelah laju infiltrasi aktual diketahui, langkah berikutnya menghitung laju infiltrasi Horton menggunakan Persamaan dibawah

$$f = \frac{\Delta H}{t} \times 60 \left(\frac{cm}{jam} \right) \dots\dots\dots 3.1$$

¹² Keterangan :

f = Laju infiltrasi (cm/jam)

ΔH = tinggi penurunan air dalam selang waktu tertentu (cm)

t = Waktu yang dibutuhkan oleh air pada ΔH untuk masuk ke tanah (menit)

3.1.2. Tahapan Penelitian

Pengumpulan data, penentuan titik lokasi pengujian, pengukuran laju infiltrasi di lapangan menggunakan alat double ring infiltrometer dan pengambilan

sampel tanah, perhitungan parameter infiltrasi metode Horton, perhitungan laju infiltrasi pada saat konstan, pemetaan persebaran nilai laju infiltrasi. Alur tahapan pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut.

3.1.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi langsung di lapangan dan informasi jenis tanah, topografi dan penggunaan lahan. Adapun jenis data yang digunakan yaitu data primer dan sekunder. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter infiltrasi yaitu laju infiltrasi awal (f_0), laju infiltrasi akhir (f_c), konstanta untuk jenis tanah dan permukaanya (k). Sedangkan data sekunder merupakan daerah penelitian di kota Cirebon

3.1.4. Alat Yang Digunakan

Alat untuk pengujian kapasitas infiltrasi di lapangan dalam penelitian ini adalah double ring infiltrometer yang terdiri dari dua pasang silinder konsentris atau tabung atau silinder bagian dalam (silinder B) dan luar (silinder A). Silinder luar berdiameter 30 cm dan silinder dalam berdiameter 15 cm, dengan tinggi 20 cm. Pada silinder B terdapat jembatan pengukur dengan lubang, melalui lubang lingkaran kecil yang ada pada jembatan tersebut terdapat tongkat atau penara pengukur penurunan air dengan dilengkapi balok pengapung yang dapat bergerak bebas naik dan turun, bagian-bagian alat double ring infiltrometer ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alat Double Ring Infiltrometer

3.1.5. Uji Infiltrasi

Pengukuran parameter infiltrasi dilakukan secara langsung di lapangan untuk mengetahui nilai kapasitas infiltrasi yang kemudian dari nilai kapasitas infiltrasi tersebut didapatkan parameter infiltrasi. Pengukuran parameter infiltrasi menggunakan alat infiltrometer yaitu double ring infiltrometer. Pengukuran dilakukan pada titik lokasi pengujian yang sudah ditentukan. Prosedur pengukuran parameter infiltrasi adalah sebagai berikut :

1. Penyiapan lahan atau lokasi titik pengujian dengan terlebih dahulu membersihkan permukaan tanah yang akan diuji dari rumput atau tanaman, kemudian dilakukan penggalian sedalam 5 cm dari permukaan tanah. Penyiapan lahan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Proses Penyiapan Lahan atau Lokasi Pengujian

2. Pemasangan alat Double ring infiltrometer.
 - a. Silinder A diposisikan pada titik lokasi pengujian, kayu diletakkan di atas silinder, kemudian ditekan dengan alat pemukul hingga silinder masuk 5-10 cm kedalam tanah guna mencegah rembesan air dari dalam silinder B. Kemudian silinder B diposisikan di tengah-tengah silinder A.
 - b. Silinder B ditekan ke dalam tanah seperti yang dilakukan pada silinder A. Pemasangan silinder ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4. Posisi Pemasangan ring

- c. Silinder A diisi dengan air sedalam 10-15 cm, didiamkan sampai kira-kira 5-20 menit untuk menjenuhkan tanah.
- d. Air dituangkan ke dalam silinder B dengan hati hati agar tidak merusak lapisan permukaan tanahnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pengisian Air Pada Silinder

- e. Di pasang jembatan dan alat penara penurunan tinggi muka air
3. Pengukuran laju infiltrasi dengan mencatat penurunan muka air (ΔH) dalam silinder B diukur setiap interval waktu (Δt) 5 menit selama 120 menit atau sampai tidak terjadi perubahan tinggi muka air atau tetap. Laju infiltrasi ditentukan dengan Persamaan 3.2 berikut :

$$f = \frac{\Delta H}{t} \dots\dots\dots 3.2$$

dengan, ΔH = Tinggi penurunan (cm) pada interval waktu t , t = waktu yang dibutuhkan oleh air pada ΔH untuk masuk ke tanah (menit).



Gambar 3.6. Pengukuran Laju infiltrasi

4. Air ditambahkan bila tinggi muka air kira-kira kurang dari 5 cm dari permukaan tanah namun masih terjadi penurunan air, setelah air ditambahkan lanjutkan pengukuran laju infiltrasi hingga mencapai konstan atau tidak terjadi lagi penurunan

3.1.6. Perhitungan Parameter Infiltrasi Metode Horton

Hubungan antara laju infiltrasi dan waktu digambarkan dalam suatu grafik agar dapat diperkirakan kapasitas infiltrasi. Hasil pengukuran laju infiltrasi tanah di lapangan dianalisis lebih lanjut untuk menduga laju infiltrasi tanah berdasarkan model Horton yang dituliskan dalam Persamaan 3.3.

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-Kt} \dots\dots\dots 3.3$$

dengan :

$f(t)$ = laju infiltrasi pada waktu ke- t (cm/jam),

f_c = kapasitas infiltrasi konstan (cm/jam),

f_0 = kapasitas infiltrasi awal (cm/jam),

t = waktu (jam)

3.2. Metode Kotak Infiltrasi Sederhana

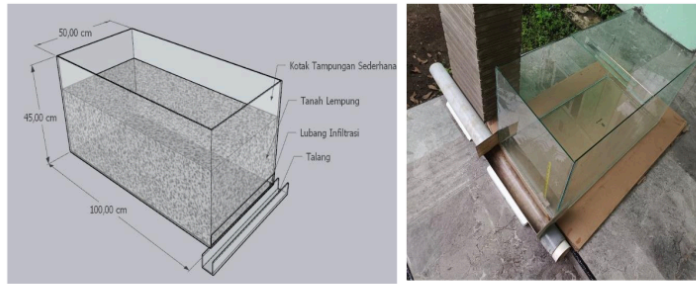
Salah satu penyebab limpasan permukaan adalah perubahan tata guna lahan yang mengakibatkan daerah-daerah resapan air menghilang dan digantikan dengan bangunan. Beberapa model hidrologi dikembangkan untuk menentukan keseimbangan air, misalnya model infiltrasi. Model infiltrasi digunakan untuk mengetahui tentang berapa besar limpasan permukaan atau genangan yang dapat terinfiltrasi.

3.2.1. Desain Kotak Infiltrasi Sederhana

Ruang infiltrasi sering menggunakan pendekatan model pada lahan. Model mengkonversikan hujan atau tampungan dengan jenis permukaan dalam suatu areal tertentu. Hujan yang digunakan umumnya dengan intensitas tetap dan terjadi merata. Jenis permukaan yang digunakan dapat berupa lapisan tanah yang homogen, model infiltrasi yang akan dikembangkan adalah pada ruang infiltrasi dalam suatu kotak infiltrasi sederhana, kotak infiltrasi sederhana ini di pengaruhi oleh debit dan limpasan.

Desain kotak infiltrasi sederhana, lihat gambar 3.6. dibawah, dengan menggunakan pendekatan alam yang di transformasi dalam bentuk laboratorium sebagaimana kejadian dalam sistim hidrologi. Model kotak infiltrasi sederhana sebagai bagian dari model hidrologi mencoba mengkonversikan kejadian infiltrasi alam ke dalam suatu model yang akan dikembangkan. Infiltrasi dapat menghubungkan antara permukaan tanah dengan groundwater. Perpindahan air dalam tanah dilakukan dengan infiltrasi pada media resapan untuk meresapkan air. Beberapa hal yang mempengaruhi banyaknya air yang dapat diresapkan adalah tergantung dari jenis dan karakteristik lapisan, kedalaman, tampungan awal serta genangan.

Desain model kotak infiltrasi sederhana yang dibuat untuk menganalisis kemampuan model infiltrasi sederhana dalam meresapkan air limpasan, menganalisis pengaruh model infiltrasi sederhana terhadap aliran antara, menganalisis nilai efisiensi model infiltrasi sederhana terhadap infiltrasi dalam keadaan tak jenuh dan jenuh air.



Gambar 3.7. Desain Kotak Infiltrasi Sederhana

3.2.2. Bahan dan Model Infiltrasi Sederhana

Model tampungan infiltrasi ini menggunakan bahan dari kaca dengan ukuran 100cm x 50cm x 45cm. kotak infiltrasi ini berisikan tanah lempung, selengkapnya sebagai berikut :

- Penyaringan bahan dengan saringan nomor 10 (2,00 mm)
Penyaringan material tanah lempung menggunakan saringan nomor 10 (2,00 mm) merupakan metode penting dalam analisis ukuran butir tanah. Ukuran butir tanah berpengaruh langsung terhadap laju infiltrasi air. Dengan mengetahui distribusi ukuran butir, dapat memprediksi perilaku infiltrasi air di dalam tanah.
- Bagian resapan dengan ketebalan lapisan
- Lapisan tanah lempung dengan ketebalan 30 cm, proses pemadatan dilakukan setiap ketebalan tanah 10 cm, pemadatan dilakukan dengan berat jatuh dari hebel atau bata ringan dari ketinggian 20 cm, sedangkan dimensi hebel 20cm x 10cm x 7,5cm dengan berat 1,40 kg, berat jatuh dilakukan secara merata disetiap permukaan media tanah.
- Pipa presipitasi 3/4 inch, untuk mengalirkan debit 0,109 liter/detik. Pipa ini terletak pada bagian atas kotak infiltrasi sederhana dan dialirkan seperti hujan secara merata.



Gambar 3.8. Kotak Infiltrasi Sederhana

e. Nozle untuk simulasi hujan

Nozle hujan digunakan dalam menyebarkan air secara merata ke bagian lahan uji coba dengan pola semprotan yang dapat diatur sesuai kebutuhan



Gambar 3.9. Bentuk Nozzle

f. Flowmeter untuk pengaturan kecepatan aliran

Flowmeter digunakan untuk mengukur jumlah dan laju aliran fluida dalam sistem perpipaan dan untuk memastikan bahwa aliran fluida sesuai dengan kebutuhan proses



Gambar 3.10. Flowmeter

- g. Pada bagian bawah kotak terdapat celah dengan ukuran 50cm x 3cm, pada bagian bawah ini untuk menerima hasil resapan dan mengukur debit infiltrasi.
- h. Percobaan dengan tanah jenuh dan tidak jenuh
- i. Batasan kotak infiltrasi sederhana
 - Proses infiltrasi secara vertikal, karena sisi-sisi kotak infiltrasi sederhana dibuat kedap
 - Kepadatan lapisan dianggap seragam
- j. Saat pengujian model tampungan sederhana dialiri hujan secara merata dengan debit hujan deras yaitu 0,109 liter/detik.

3.2.3. Data yang diukur

Data yang diukur adalah :

- a. Debit limpasan yang berasal dari pipa presipitasi diatur konstan 0,109 liter/detik
- b. Infiltrasi diukur tiap menit
- c. Ketinggian genangan air

3.3. Metode Kotak Infiltrasi Median Jalan

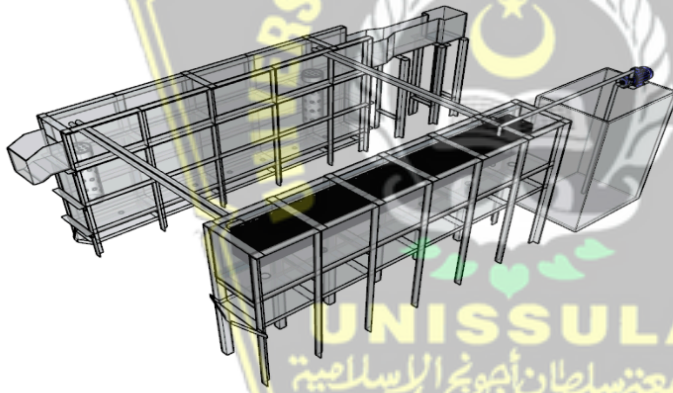
Dalam pelaksanaan menggunakan pendekatan eksperimental model prototype di laboratorium. Pada penelitian ini dimaksudkan untuk dapat mengungkap data secara maksimum dengan mensimulasikan aliran inflow dari median dan gabungan median dan drainase serta tanpa dan dengan ke kotak

infiltrasi pada flume median. Pengujian mengembangkan konsep teoritik berdasarkan data yang akan didapatkan dari aspek hidrolis dan untuk mengungkapkan data sebanyak mungkin pada pengujian laboratorium dengan Model Kotak Infiltrasi di Median Jalan, Model Eksisting Aliran di Median Jalan dan Saluran Tepi, Model Kombinasi Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan.

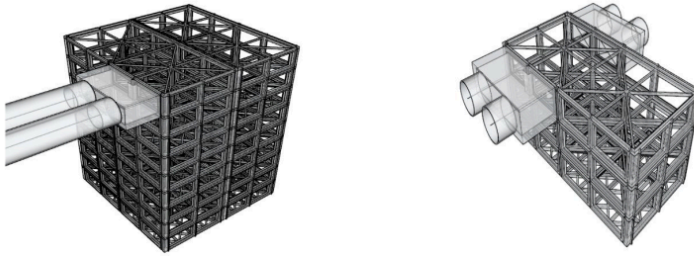
Menggunakan metode diskriptif kuantitatif, variasi Pengujian dengan konsep yang dilakukan menggunakan kotak infiltrasi terbuat dari bahan plastik dengan ukuran lebar 8 cm tinggi 9 cm dan panjang 20 cm, yang di lengkapi sumur resapan dan variasi aliran dari median dan gabungan aliran median dan drainase.

3.3.1. Skema Model Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Model ini terdiri dari dari 2 wadah yang merupakan saluran yang berada di sebelah kanan dan kiri, kemudian memiliki sumur resapan yang berada di antara wadah saluran dan 1 wadah kotak infiltrasi dengan ukuran tinggi 8 cm, lebar 9 cm dan Panjang 20 cm, di tata melebar dan memanjang membentuk 2 baris dan 2 lapis, semua dihubungkan oleh pipa mulai dari wadah saluran ke sumur resapan, kemudian dari sumur resapan ke kotak infiltrasi dan sumur resapan di hubungkan dengan diameter pipa inflow 1 inch (3,34 cm).



Gambar 3.11. Model Flume Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan



Gambar 3.12. Model Desain kotak Infiltrasi dan pipa inflow beserta konektor inflow

3.3.2. Alat

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *flume* uji yang terdiri dari 3 wadah, untuk *flume* kotak infiltrasi lebar 35cm x tinggi 50cm x panjang 250cm, *flume* sumur resapan 24cm x 80cm x 250cm dan *flume* drainase 24cm x 40cm x 250cm. Hal tersebut diadaptasikan dengan ukuran lebar penampang yang hampir sama pada umumnya, yaitu 24 cm. Akan tetapi panjang saluran drainase yang di adaptasi oleh *flume* uji hanya 250 cm. Material *flume* uji terbuat dari kaca 5 mm yang di beri rangka profil baja L, agar kuat menerima beban tanah dan air. Kapasitas tampungan tanah *flume* uji sebesar $\pm 0,44 \text{ m}^3$. (35cm x 50cm x 250cm)

3.3.4. Bahan atau Material

Untuk menguji kinerja dari penggunaan Kotak infiltrasi dan sumur resapan dibutuhkan bahan-bahan penyusun. Bahan yang digunakan adalah tanah, pasir, pipa, dan geotekstil tidak teranyam (*non-woven*). Penentuan spesifikasi bahan berdasarkan ketersediaan dan fungsinya. Berikut ini adalah penjelasan spesifikasi atau ketentuan dari masing-masing bahan yang digunakan.

a. Tanah

Tanah diambil dari lokasi penelitian, tanah digunakan sebagai bahan isi *flume* uji.

b. Pasir

Pasir yang digunakan sebagai bahan isi flume uji setelah geotekstil, dengan tujuan menstabilkan air yang masuk kedalam tanah agar tidak tertahan di bawah flume uji.

c. Geotekstil

Geotekstil digunakan berfungsi sebagai pemisah atau separasi (separator), untuk memisahkan lapisan tanah dengan lapisan pasir tidak tercampur dan menahan lapisan pasir tidak keluar dari flume uji. Pemasangan geotekstil yang merupakan bahan sintetis yang bersifat fleksibel sebagai pemisah di antara dua material yang berbeda, sehingga ke dua material tetap merupakan bahan yang utuh. Geotekstil yang digunakan jenis geotekstil tidak teranyam (non-woven).

d. Kotak Infiltrasi

Kontak tampungan dan resapan permukaan merupakan kotak berbentuk persegi panjang yang akan di desain dari bahan plastik dengan ukuran lebar 50 cm, tinggi 45 cm dan Panjang 100 cm, kotak ini mempunyai dinding berlubang untuk masuk dan keluar air, meningkatkan daya serap tanah.

e. Sumur Resapan

Sumur resapan berdiameter 80 cm dengan skala 1 : 5 dalam pengujian laboratorium di buat dari pipa berdiameter 6 inch (15,24 cm) dengan panjang 60 cm, sumur resapan ini merupakan variasi dari pengujian ini yang memiliki fungsi sebagai pencegahan sedimentasi, selain sebagai tampungan sedimentasi juga dapat berfungsi meningkatkan daya resap tanah pada saluran drainase. Pada bagian dinding pipa resapan diberi lubang pori-pori kecil. Pada pipa resapan berdiameter 6 inch lubang pori-pori berukuran 12 mm Jarak antar lubang pori-pori searah sumbu X adalah 3,39 cm dan sumbu Y adalah 5 cm.

3.4. Tahap Penelitian

Tahap penelitian dibedakan menjadi dua tahap, yaitu tahap persiapan dan tahap pengujian. Tahap persiapan adalah tahap, pembuatan pipa resapan dan kotak

infiltrasi dan sumur resapan serta tahap untuk melakukan trial agar menemukan metode yang tepat pada tahap pengujian.

3.4.1. Tahap persiapan

Berikut ini adalah tahap-tahap persiapan sebelum pengujian.

- a. Pembuatan kotak infiltrasi dan sumur resapan dengan skala 1 : 5 sumur resapan dari pipa pvc diameter 6 inch (15,24 cm) dipotong dengan gergaji sepanjang 60 cm dan dilubangi dengan bor untuk pembuatan pipa resapan, sedangkan untuk Kotak infiltrasi di desain ukuran 20cm x 10cm x 9cm dan lakukan pemesanan
- b. Trial pengujian
Pengujian uji coba dengan media yang lebih kecil. Pengujian ini dilakukan secara berulang-ulang hingga menemukan metode yang sesuai digunakan dalam menentukan jumlah pukulan untuk pemadatan.
- c. Persiapan flume uji
 - Lapisin bagian bawah flume uji dengan geotekstil, kemudian pasir dimasukkan dan bagian atas pasir dilapisi geotekstil kembali.
 - Tanah yang lolos saringan no. 10 dimasukkan kedalam wadah perlapisan dengan ketentuan satu lapisan tanah memiliki ketebalan 10 cm.
 - Tanah yang telah dimasukkan setebal 10 cm kemudian dipadatkan dengan jumlah lintasan tumbukan sebanyak tiga kali dan setelah selesai dilanjutkan kelapisan selanjutnya.
 - Penimbunan dan pemadatan tanah dilakukan hingga mencapai dasar kotak infiltrasi.

3.4.2. Tahap pengujian

Tahap pengujian sesuai model skema model kotak infiltrasi dan sumur resapan median jalan

- a. Pompa air dinyalakan dan hitung debit masuk atau debit yang dikeluarkan pompa air.

- b. Stopwatch dinyalakan jika sudah masuk ke flume uji.
- c. Catat waktu saat air mulai melimpas dan terinfiltrasi.
- d. Volume air limpasan dan infiltrasi di catat dari waktu air masuk ke flume uji.
- d. Pada kondisi air konstan tinggi muka air dicatat
- e. Pompa air dimatikan jika kondisi volume air limpasan dan infiltrasi sudah konstan atau cenderung besarnya sama.
- f. Volume air limpasan di catat hingga air yang melimpas habis.
- g. Volume air infiltrasi di catat dari waktu air masuk ke flume uji.

Adapun langkah-langkah dalam pengukuran debit inflow, debit limpasan dan debit infiltrasi, dilakukan dalam tahap pengujian ini adalah sebagai berikut.

a. Debit inflow

Langkah-langkah dalam pengukuran debit inflow adalah sebagai berikut ini.

1. Setel keluaran pompa
2. Pompa dinyalakan dan kondisi air yang keluar sudah konstan.
3. Nyalakan stopwatch saat air sudah keluar
4. Tampung air yang keluar dengan gelas ukur selama ± 10 detik.
5. Catat volume air pada gelas ukur.
6. Lakukan pengujian sebanyak tiga kali.

b. Debit limpasan dan debit infiltrasi

Langkah-langkah dalam pengukuran debit limpasan dan debit infiltrasi adalah sebagai berikut ini.

1. Gunakan gelas ukur.
2. Nyalakan stopwatch saat air sudah masuk flume uji.
3. Catat waktu saat air sudah keluar melalui bagian outflow limpasan dan infiltrasi.
4. Tampung air yang keluar dengan gelas ukur per-30 detik dari waktu air masuk ke flume uji.
5. Catat air yang tertampung di gelas ukur.

6. Lakukan pengujian setiap 30 detik sekali selama 2 jam untuk pengukuran debit infiltrasi dan 100 menit untuk pengukuran debit limpasan.

3.4.3. Analisa Data

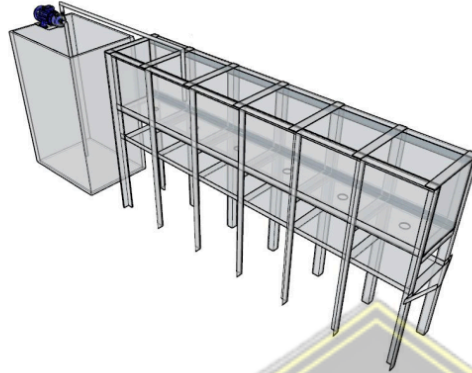
Dalam penelitian ini analisis data yang digunakan adalah analisis regresi, atau perbandingan antar variabel lainnya sehingga membentuk kurva atau grafik. Sehingga dari kurva atau grafik tersebut akan di lihat hubungan yang terjadi antar variabel dan ditarik suatu kesimpulan. Ada sepuluh variasi dan empat skenario pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1. Ada beberapa variasi yang digunakan dalam penerapan sistem drainase berkelanjutan, yaitu kotak infiltrasi sederhana, kotak infiltrasi di median jalan, eksisting aliran di median jalan dan saluran tepi, kombinasi kotak infiltrasi dan sumur resapan. Variasi pengujian yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1. Variasi dan Skenario Pengujian

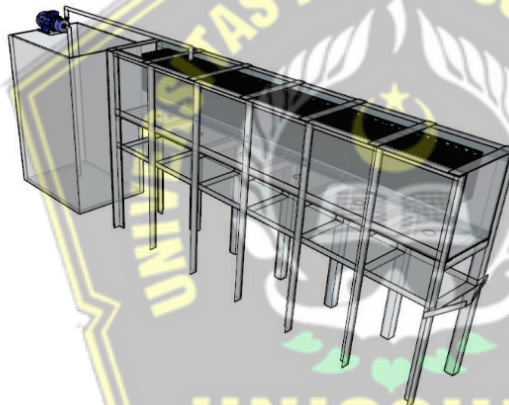
No	Variasi
A	Model ke 1 Kotak Infiltrasi Sederhana
1	Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Jenuh
2	Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Tidak Jenuh
	

Gambar 3.13. Kotak Infiltrasi Sederhana

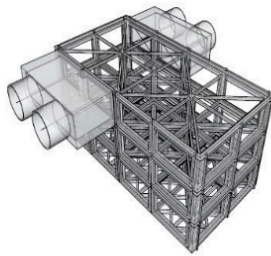
B	Model ke 2 Kotak Infiltrasi di Median Jalan
1	Uji Model Tanpa Kotak Infiltrasi di Median
2	Uji Model Dengan Kotak Infiltrasi di Median



Gambar 3.14. Flume Median Jalan Tanpa Kotak Infiltrasi

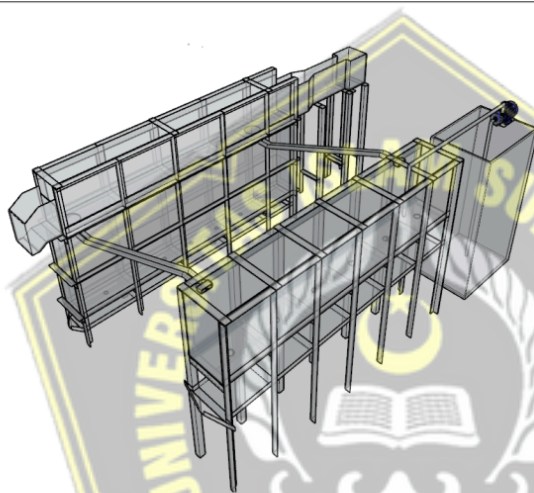


Gambar 3.15. Flume Median Jalan Dengan Kotak Infiltrasi



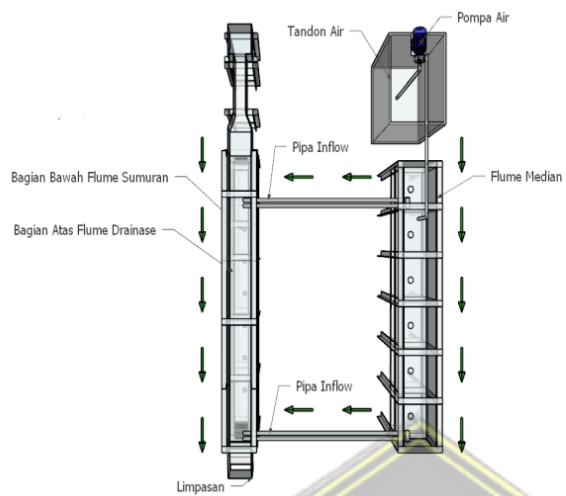
Gambar 3.16. Kotak Infiltrasi

C	Model ke 3 Eksisting Aliran di Median Jalan dan Saluran Tepi
1	Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Jenuh
2	Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Tidak Jenuh

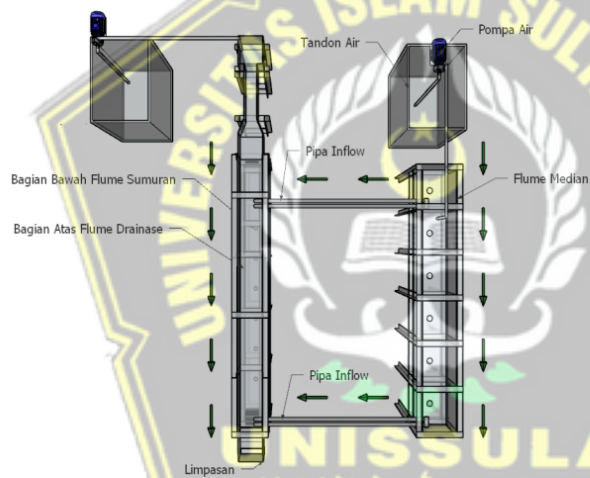


Gambar 3.17. Flume Median dan Flume Drainase

D	Model ke 4 Kombinasi Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan
1	Simulasi Aliran Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan
	a. Arah Aliran Dari Median
	b. Arah Aliran Dari Median dan Drainase

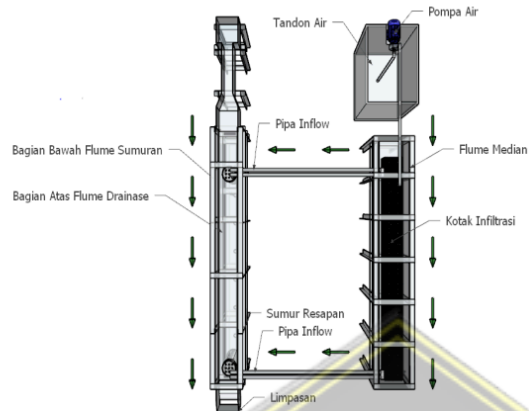


Gambar 3.18. Flume Median dan Flume Drainase Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan Aliran dari Median

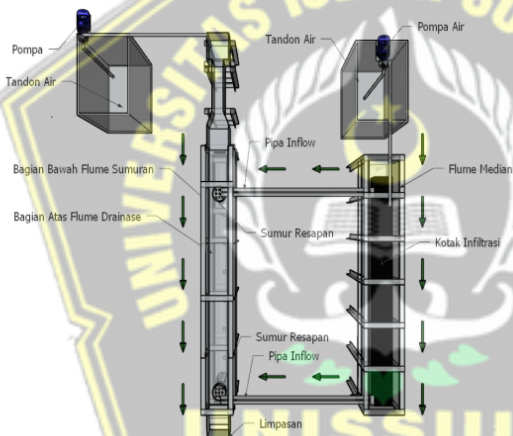


Gambar 3.19. Flume Median dan Flume Drainase Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan Aliran Median dan Drainase

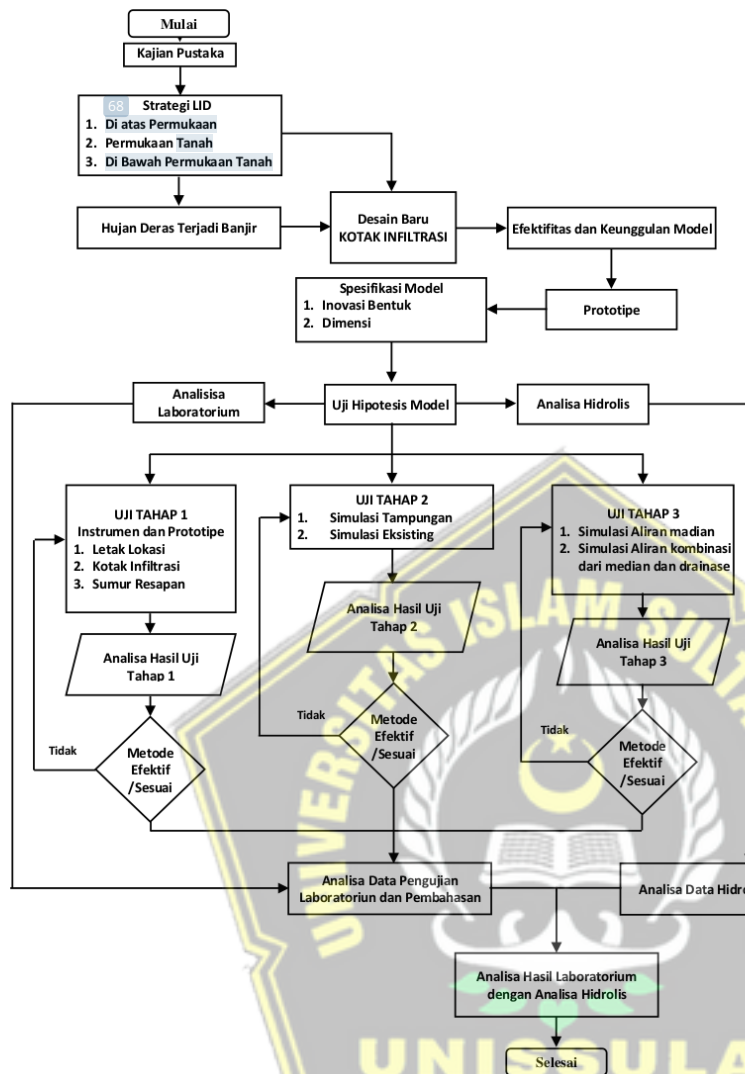
2	Simulasi Aliran Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan
	a. Arah Aliran Dari Median ke Drainase
	b. Arah Aliran Dari Median dan Drainase



Gambar 3.20. Flume Median dan Flume Drainase Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan Aliran dari Median



Gambar Flume 3.21. Median dan Flume Drainase Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resap Aliran dari Median dan Drainase



Gambar 3.22. Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL PERHITUNGAN DAN UJI LABORATORIUM

Sub bab ini membahas hasil perhitungan dan uji laboratorium meliputi : 1) Data dan analisis hidrologi, 2) Uji karakteristik tanah, 3) Analisis reduksi air hujan, 4) Uji model 1 kotak infiltrasi sederhana, 5) Uji model 2 kotak infiltrasi di median jalan, 6) Uji model 3 eksisting aliran median jalan dan saluran tepi, 7) Uji model kombinasi kotak infiltrasi dan sumur resapan, 8) Model aliran dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan, Penjelasan dari hasil setiap bagian adalah sebagai berikut.

4.1. Data dan Analisis Hidrologi

Data klimatologi diperoleh dari BMKG Stasiun Klimatologi Penggung Kota Cirebon, sedangkan data hujan dan debit diperoleh Unit Pelaksana Teknis (UPT) Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung (BBWS Cimancis). Koordinat lokasi stasiun pengamatan hidrologi dan klimatologi serta ketersediaan data yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Stasiun Hidrologi dan Klimatologi

No	Nama Stasiun	Koordinat		Elevasi	Interval
		Lintang	Bujur	(m)	
Stasiun Curah Hujan					
	Harjamukti	06°44'26,660"S	108°33'23,620"E	51	2014-2023
	Kamun	06°43'54,920"S	108°31'28,070"E	75	2014-2023
	Kertajati	06°42'59,020"S	108°32'26,530"E	85	2014-2023
Stasiun Klimatologi					
	Penggung crb	06°45'24,874"S	108°32'20,654"E	27	2014-2023
Stasiun Debit					
	Sta Jamblang	06°44'27,603"S	108°25'48,208"E	75	2014-2023

Sumber : BBWS Cimanuk Cisanggarung dan BMKG Kota Cirebon

4.1.1. Curah Hujan

Wilayah Cirebon memiliki karakteristik iklim yang jelas, dengan perbedaan antara periode musim hujan dan musim kemarau, musim hujan biasanya berlangsung dari bulan November hingga Maret. Selama periode ini, curah hujan meningkat secara signifikan, dengan bulan-bulan puncak curah hujan terjadi pada Januari hingga Maret. Selama musim ini, cuaca cenderung mendung dan sering kali disertai dengan angin kencang. Curah hujan harian dapat mencapai angka yang cukup tinggi, yang berpotensi menyebabkan banjir di beberapa daerah. Musim kemarau di Cirebon berlangsung dari bulan April hingga Oktober. Pada periode ini, curah hujan menurun drastis, dan cuaca umumnya lebih cerah dengan suhu yang lebih panas. Curah hujan terendah biasanya terjadi pada bulan Agustus dan September, dengan kondisi langit yang sebagian besar cerah atau hanya sedikit berawan.

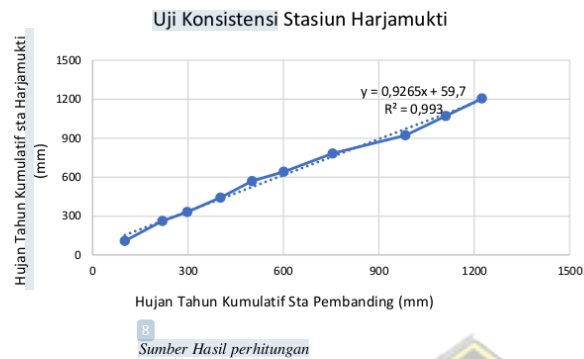
Tabel 4.2. Curah Hujan DAS Kedungpane Kota Cirebon

Tahun	BULAN												Tahunan
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOV	DES	
2014	219,400	303,300	251,700	231,800	133,600	113,300	117,200	67,500	2,000	110,000	155,600	239,900	1945,300
2015	262,700	210,900	390,000	196,400	79,200	11,300	4,000	8,200	0,500	5,000	90,000	179,600	1437,800
2016	171,500	186,800	206,500	150,200	166,700	58,800	106,000	12,700	84,300	138,300	153,000	172,300	1607,100
2017	288,300	206,900	235,000	175,000	100,700	121,600	37,100	161,000	55,400	136,000	132,000	121,600	1770,600
2018	141,800	284,400	294,400	211,000	95,500	46,700	0,000	0,000	47,000	22,500	167,200	190,500	1501,000
2019	121,300	203,700	269,500	217,700	213,100	1,500	1,500	1,500	0,000	31,500	58,000	208,000	1327,300
2020	243,200	259,300	253,300	231,300	238,600	102,300	172,500	44,000	42,500	134,700	254,700	441,800	2418,200
2021	298,000	542,700	258,399	193,700	101,300	134,000	18,800	107,600	118,200	107,300	237,700	331,500	2449,199
2022	284,500	241,000	282,800	266,000	220,000	99,800	135,800	22,000	45,000	401,300	308,700	250,500	2557,400
2023	231,000	329,200	296,500	241,100	103,100	148,000	63,500	0,000	0,000	36,700	151,200	207,500	1807,800

Sumber : Hasil perhitungan

Uji konsistensi data hujan untuk mengetahui konsistensi (kepanggahan) data hujan karena perubahan (gangguan) lingkungan di lingkungan tempat penakar hujan terpasang sehingga dapat terjadi penyimpangan terhadap tren semula. Oleh sebab itu sebelum data hujan tersebut digunakan (bahan informasi lebih lanjut), harus dilakukan uji konsistensi. Hal tersebut dapat dianalisis dengan memakai

lengkung massa ganda (double mass curve). Hasil uji konsistensi data hujan stasiun harjamukti dapat dilihat pada Gambar 4.1. Hasil uji konsistensi menunjukkan data hujan konsisten sehingga data hujan dapat diproses lebih lanjut.



Gambar 4.1. Uji konsistensi data hujan stasiun Harjamukti

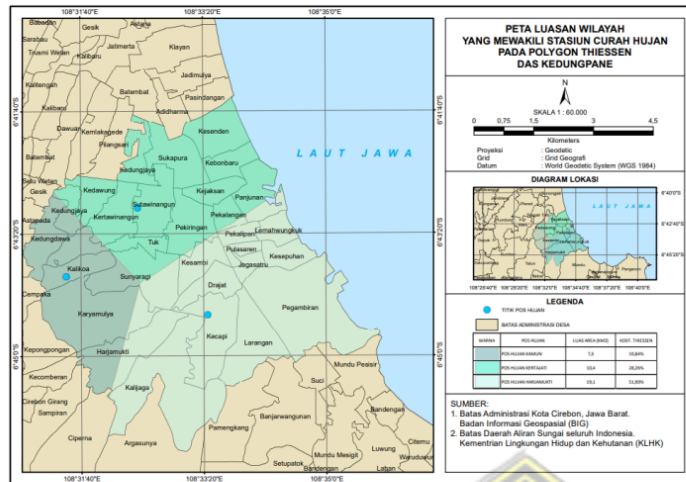
Hujan rata-rata wilayah DAS dianalisis dengan menggunakan metode poligon Thiessen. Berdasarkan hasil analisis hujan rata-rata DAS tersebut diperoleh besar curah hujan tahunan rata-rata dan rata-rata tiap bulan pada setiap sub DAS nilai curah hujan rata-rata bulanan dan tahunan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Koefisien Thiessen DAS Kedungpane

Stasiun Hujan	Luas (km ²)	Koef Thiessen (%)
Harjamukti	19,1	51,90
Kamun	7,3	19,84
Kertajati	10,4	28,26
Total	36,80	100,00

Sumber Hasil perhitungan

Curah hujan tahunan rata-rata wilayah menggunakan metode koefisien Thiessen, merupakan teknik penting dalam hidrologi untuk menghitung distribusi curah hujan berdasarkan data dari beberapa stasiun pengamatan.



Gambar 4.2. Pologon Thiesen DAS Kedungpane

Dalam analisis mengenai curah hujan di kota Cirebon, data curah hujan tahunan selama sepuluh (2014-2023) menunjukkan variasi signifikan. pada tahun 2021, curah hujan tertinggi tercatat sebesar 198,900 mm, sementara tahun 2016 curah hujan terendah dengan 75,767 mm.

Tabel 4.4. Curah Hujan Tahunan Rata-rata

Tahun	Stasiun Harjamukti (mm)	Stasiun Kamun (mm)	Stasiun Kertajati (mm)	Hujan Wilayah (mm)
2014	109,000	115,000	88,300	104,100
2015	154,000	129,000	107,000	130,000
2016	71,00	76,000	80,300	75,767
2017	111,500	114,000	95,800	107,100
2018	117,000	99,000	99,400	105,133
2019	71,000	99,000	100,500	90,167
2020	141,500	95,000	212,300	149,600
2021	139,500	243,000	214,200	198,900
2022	148,500	132,000	120,800	133,767
2023	135,500	127,000	101,700	121,400

Sumber Hasil perhitungan

Analisis curah hujan rencana digunakan untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum dengan periode ulang tertentu yang akan digunakan dalam perhitungan debit rencana. Metode yang digunakan untuk perhitungan curah hujan, yaitu cara statistik atau metode distribusi pada curah hujan harian maksimum rata-rata DAS. Analisis curah hujan rencana dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis distribusi diantaranya Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel dan Distribusi Log Pearson III, hasil perhitungan terlihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Kriteria Pemilihan Distribusi Jenis Sebaran

No	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil hitungan	Kesimpulan
1	Normal	$CS \approx 0$	1,119	Tidak
		$Ck \approx 3$	0,040	Tidak
2	Log Normal	$Cs \approx 3 + Cv^3 = 3$	0,934	Tidak
		$Ck = 5,383$	3,101	Tidak
3	Log Person III	$Cs \neq 0$	0,325	Sesuai
4	Gumbel	$Cs = 1,1396$	1,119	Tidak
		$Ck = 5,4002$	0,040	Tidak

Sumber Hasil perhitungan

Uji keselarasan untuk menentukan persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Ada dua jenis uji keselarasan, yaitu Chi Square dan Smirnov Kolmogorof. Selanjutnya distribusi probabilitas yang dipakai untuk menentukan curah hujan rencana adalah distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis

Tabel 4.6. Hasil Uji Kecocokan

Uji Kecocokan	Distribusi Log Person III		
	Syarat	Hasil hitungan	Kesimpulan
Uji Chi Square	$\chi^2 < \chi^2_{\alpha}$	$2,0 < 5,991$	Mewakili
Smirnov Kolmogorof	$\Delta P_i < \Delta P$	$0,434 > 0,409$	Tidak Mewakili

Sumber Hasil perhitungan

Dari hasil uji kecocokan distribusi log person III menggunakan uji Chi Square dan uji Kolmogorov-Smirnov, yang memenuhi persyaratan adalah dengan menggunakan uji chi square $\chi^2 < \chi^2_{\alpha}$ dengan hasil $2,0 < 5,991$.

Perhitungan periode ulang hujan dihitung dengan distribusi yang sesuai yaitu log person III. Maka didapat data statistik sebagai berikut

Jumlah data = 10 (Tahun)
 Nilai Mean = 2,071 (Rata rata log person mm)
 Nilai Sd = 0,118 (Standar deviasi log person mm)
 Nilai Cs = 0,325 (Koefisien Kemencengan, peluang %)

Harga k dihitung berdasarkan nilai T dan nilai Cs dimana T direncanakan T = 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 tahun dan nilai Cs = 0,325 maka didapat nilai k pada tabel di bawah

Tabel 4.7. Nilai k dengan periode ulang

CS	1,01	2	5	10	20	25	50	100
0,300	-2,104	-0,05	0,824	1,309	1,669	1,849	2,211	2,544
0,400	-2,029	-0,066	0,816	1,317	1,692	1,880	2,261	2,615
0,325	-2,085	-0,054	0,822	1,311	1,675	1,857	2,223	2,562

Sumber Hasil perhitungan

Dari hasil nilai Cs = 0,325, maka selanjutnya dilakukan hitungan untuk hujan rencana periode ulang. Perhitungan Curah hujan rencana berbagai Kala Ulang dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8. Hujan Rencana Untuk Periode Ulang

TR	Koefisien Return Period (KTR)	Curah Hujan Rencana (mm)
2	-0,054	116,078
5	0,822	147,238
10	1,311	168,139
15	1,493	176,648
20	1,675	185,588
25	1,857	194,987
50	2,223	215,397
100	2,562	236,110

Sumber Hasil perhitungan

Intensitas hujan merupakan besarnya hujan rata-rata yang terjadi di suatu daerah dalam suatu satuan waktu tertentu yang sesuai dengan waktu konsentrasi

dan periode ulang tertentu. Hasil analisis intensitas durasi dan frekuensi disajikan pada Tabel 4.9. dan Gambar 4.3. bawah

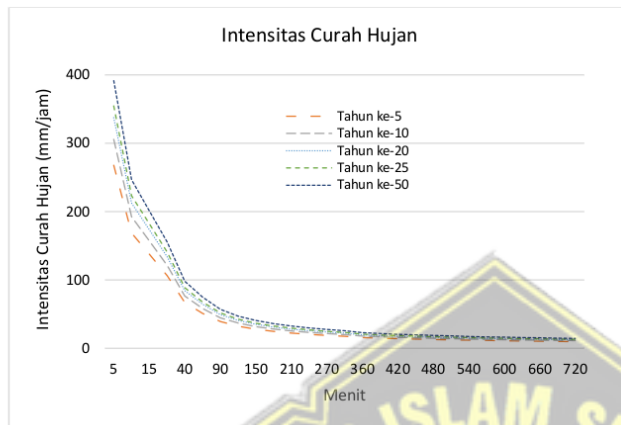
Tabel 4.9. Perhitungan Intensitas Hujan dengan periode ulang tertentu

T (Menit)	T (Jam)	Periode Ulang (Tahun)							
		2	5	10	15	20	25	50	100
		116,078 (mm)	147,238 (mm)	168,139 (mm)	176,648 (mm)	185,588 (mm)	194,987 (mm)	215,397 (mm)	236,110 (mm)
5	0,083	210,927	267,550	305,528	320,991	337,236	354,314	391,403	429,041
10	0,167	132,876	168,546	192,471	202,211	212,445	223,204	246,568	270,279
15	0,250	108,291	137,361	156,860	164,798	173,139	181,907	200,948	220,272
20	0,333	83,707	106,177	121,249	127,385	133,832	140,610	155,328	170,265
40	0,667	52,732	66,887	76,382	80,248	84,309	88,579	97,851	107,260
60	1	40,242	51,045	58,290	61,240	64,340	67,598	74,674	81,855
90	1,5	30,710	38,954	44,484	46,735	49,100	51,587	56,987	62,467
120	2	25,351	32,156	36,721	38,579	40,531	42,584	47,042	51,565
150	2,5	21,847	27,711	31,645	33,246	34,929	36,698	40,539	44,438
180	3	19,346	24,540	28,023	29,441	30,931	32,498	35,900	39,352
210	3,5	17,457	22,143	25,286	26,566	27,910	29,324	32,393	35,509
240	4	15,970	20,257	23,133	24,303	25,533	26,826	29,634	32,484
270	4,5	14,764	18,727	21,386	22,468	23,605	24,800	27,396	30,031
300	5	13,763	17,457	19,935	20,944	22,004	23,118	25,538	27,994
360	6	12,187	15,459	17,653	18,547	19,486	20,472	22,615	24,790
390	6,5	11,554	14,656	16,736	17,583	18,473	19,409	21,440	23,502
420	7	10,997	13,949	15,929	16,736	17,582	18,473	20,407	22,369
450	7,5	10,503	13,322	15,213	15,983	16,792	17,643	19,489	21,363
480	8	10,060	12,761	14,573	15,310	16,085	16,900	18,669	20,464
510	8,5	9,662	12,256	13,995	14,704	15,448	16,230	17,929	19,653
540	9	9,301	11,797	13,472	14,154	14,870	15,623	17,259	18,918
570	9,5	8,971	11,380	12,995	13,653	14,344	15,070	16,648	18,249
600	10	8,670	10,997	12,558	13,194	13,862	14,564	16,088	17,635
630	10,5	8,392	10,645	12,156	12,772	13,418	14,097	15,573	17,071
660	11	8,136	10,320	11,785	12,382	13,008	13,667	15,098	16,549
690	11,5	7,899	10,019	11,441	12,020	12,628	13,268	14,657	16,066
720	12	7,678	9,739	11,121	11,684	12,275	12,897	14,247	15,617

Sumber Hasil perhitungan

Berdasarkan tabel 4.9 dan pada kurva intensitas durasi frekuensi (IDF) Gambar 4.3. bahwa Intensitas Curah Hujan paling tinggi pada periode ulang paling lama yaitu pada periode ulang 100 tahun nilainya sebesar 429,041 mm/jam. Sedangkan intensitas curah hujan paling rendah pada periode ulang paling cepat yaitu 2 tahun

dengan nilainya sebesar 210,927 mm/jam. Tetapi untuk durasi hujan intensitas paling tinggi durasi paling cepat yaitu 5 menit dengan intensitas sebesar 210,927 mm/jam, sedangkan intensitas paling rendah pada durasi paling lama yaitu dengan durasi 720 menit dengan nilai intensitas sebesar 15,617 mm/jam.



Sumber Hasil perhitungan

Gambar 4.3. Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF)

4.1.2. Debit Limpasan

Analisis Debit Banjir Rencana (Q) Debit banjir rencana digunakan sebagai dasar untuk merencanakan tingkat pengamatan bahaya banjir pada lokasi pengamatan dengan penerapan nilai kemungkinan terjadinya banjir terbesar. Pada perhitungan analisis debit banjir rencana ini menggunakan perhitungan Q dengan periode ulang 5 tahun. Perhitungan debit banjir memakai Metode Rasional untuk DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 500 ha. (Suripin, 2004) Untuk menghitung debit banjir diperlukan nilai koefisien pengaliran (C), intensitas hujan (I), dan luas daerah pengaliran (DAS)

8
Tabel 4.10. Kriteria Desain Hidrologi Sistem Drainase Perkotaan

Luas DAS (ha)	Periode Ulang (tahun)	Metode Perhitungan Debit Banjir
<10	2	Rasional
10-100	2-5	Rasional
101-500	5-20	Rasional
>500	10-25	Hidrograf Satuan

(Sumber : Suripin, 2004)

Berdasarkan data banjir kota Cirebon, Berikut adalah data curah hujan yang berkontribusi terhadap kejadian banjir di Kota Cirebon Tabel 4.11. Berdasarkan informasi analisis data banjir dari kejadian banjir dapat diambil kesimpulan banjir akan terjadi apabila curah hujan lebih besar dari 100 mm, oleh karena itu untuk hujan ekstrim rata rata bisa terjadi pada curah hujan dengan besaran 128,187 mm.

Tabel 4.11. Kejadian Banjir kota Cirebon

waktu	Curah Hujan (mm)
14 Maret 2014	109,0
15 maret 2015	129,0
16 Maret 2015	154,0
10 Februari 2018	117,0
11 Maret 2018	127,0
2 Januari 2022	105,5
26 Oktober 2022	148,5
16 Februari 2023	135,5

Sumber Hasil Analisis Data banjir

Berikut adalah Tabel 4.12. Rekap debit limpasan periode ulang 5 tahun dengan durasi 15 menit sebagai hujan ekstrim dengan intensitas 137,361 mm/jam, analisis tentang saluran drainase di Kota Cirebon termasuk informasi mengenai luas daerah, debit limpasan, dan kondisi saluran

Tabel. 4.12. Rekap Debit Limpasan Periode Ulang 5 tahun durasi 15 menit

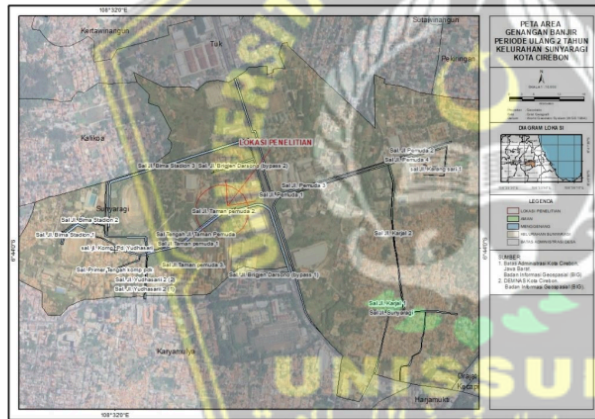
No	Jalan	Luas Daerah Ha	Q 5 thn (m3/det)	Q saluran (m3/det)	Q limpasan (m3/det)	Keterangan
1	sal. jl. Komp. Pd. Yudhasari	3,0858	0,0825	0,0252	0,0573	Menggenang
2	Sal. Primer Tengah komp pdk	14,0460	0,2332	0,1434	0,0898	Menggenang
3	Sal. Jl. Yudhasarii 2	1,8016	0,4816	0,1556	0,3260	Menggenang
4	Sal. Jl. Yudhasarii 2	4,3093	0,5642	0,1609	0,4034	Menggenang
5	Sal. Jl. Bima Stadion 1	3,2080	0,1290	0,0495	0,0795	Menggenang
6	Sal. Jl. Brigjen Darsono	6,6412	0,4794	0,1844	0,2950	Menggenang
7	Sal Jl. Taman pemuda 1	7,0010	0,4682	0,1910	0,2772	Menggenang
8	Sal. Jl. Taman pemuda 2	11,4237	0,4876	0,1220	0,3656	Menggenang
9	Sal Tengah Jl. Taman Pemuda	18,9333	0,2657	0,3397		Aman
10	Sal Jl. Taman pemuda 3	53,7914	0,3534	0,3219	0,0315	Menggenang
11	Sal Jl. Bima Stadion 2	6,7225	0,8244	0,0898	0,7346	Menggenang
12	Sal Jl. Bima Stadion 3	11,6424	0,3870	0,0807	0,3063	Menggenang
13	Sal. Jl. Brigjen Darsono	76,4489	1,3677	0,0881	1,2796	Menggenang
14	Sal Jl. Pemuda 1	17,6291	0,8408	0,1004	0,7403	Menggenang
15	Sal. Jl Pemuda 2	11,0659	1,6666	0,7556	0,9110	Menggenang
16	Sal Jl. Pemuda 3	12,9812	0,4984	0,1198	0,3786	Menggenang
17	Sal Jl. Karjal 1	6,5305	0,3149	0,0881	0,2268	Menggenang
18	Sal Jl. Karjal 2	9,5690	0,0862	0,0881		Aman
19	sal Jl. Karang sari 1	0,8358	0,1457	0,0898	0,0559	Menggenang
20	Sal Jl. Pemuda 4	18,2265	0,2524	0,2986		Aman
21	Sal Jl. Sunyaragi	12,3852	0,1858	0,1087	0,0771	Menggenang
Sumber Hasil perhitungan		308,2782	10,1145	3,6012	6,6353	

Pada Gambar 4.4. dibawah menunjukkan saat terjadi hujan lebat di jalan Pemuda Kota Cirebon menyebabkan air hujan melimpas ke jalan. Kondisi ini menunjukkan adanya masalah pada sistem drainase di sekitar jalan, saluran tidak mampu menampung dan mengalirkan debit air hujan dengan cukup cepat. Faktor penyebab tersumbatnya saluran drainase oleh sampah, kapasitas drainase yang terbatas, serta kurangnya area resapan turut berkontribusi terjadinya genangan.

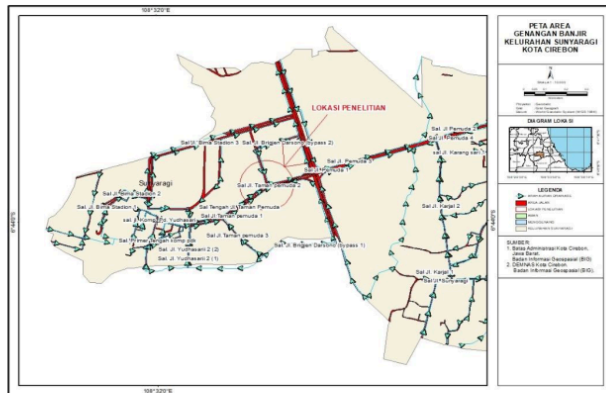


Gambar 4.4. Limpasan Jalan Taman Pemuda Cirebon Tahun 2022

Lokasi Genangan ³⁷ terlihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. tampak jelas bahwa terdapat beberapa wilayah yang mengalami genangan air. Kondisi tanah yang sudah jenuh dengan air. Area yang tergenang menunjukkan akumulasi air yang tidak dapat diserap dengan cepat ke dalam tanah atau tidak dapat dialirkan ke saluran drainase yang ada.



Gambar 4.5. Lokasi Genangan

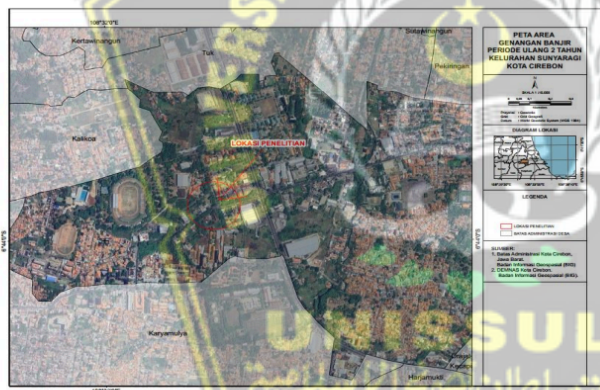


Gambar 4.6. Skema Aliran Drainase

4.2. Uji Karakteristik Tanah

4.2.1. Jenis Tanah dan Lokasi Sampel Tanah

Pada umumnya tanah di Kota Cirebon adalah tanah jenis regosol yang berasal dari endapan lava dan piroklasik (pasir, lempung, tanah liat, breksi lumpur, dan kerikil) hasil intrusi Gunung Ciremai (Nurfadilah, 2016).



Gambar 4.7. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Secara umum jenis tanah yang tersebar di Kota Cirebon adalah tipe argosol yang berasal dari endapan lava dan piroklastik (pasir, lempung, tanah liat, tupa, breksi lumpur, dan kerikil) hasil intrusi Gunung Ciremai, Secara rinci jenis tanah di Kota Cirebon terdiri atas, Regosol coklat kelabu, asosiasi regosol kelabu. Asosiasi regosol kelabu, regosol coklat kelabu. Asosiasi glei humus rendah/aluvial kelabu. Asosiasi regosol kelabu, regosol coklat kelabu, dan latosol. Asosiasi mediteran coklat dan litosol. Latosol coklat kemerahan.

Tabel 4.13. Luas Jenis Tanah

Jenis Tanah	Luas	Persentase
Tanah Alluvial	2509,27 Ha	643%
Tanah Latosol	322,84 Ha	8,3%
Tanah Grumosol	1106,91 Ha	28,4%
Tanah Regosol	Tidak ada data spesifik tentang luas regosol	
Tanah Argosol	Tidak ada data spesifik tentang luas argosol	

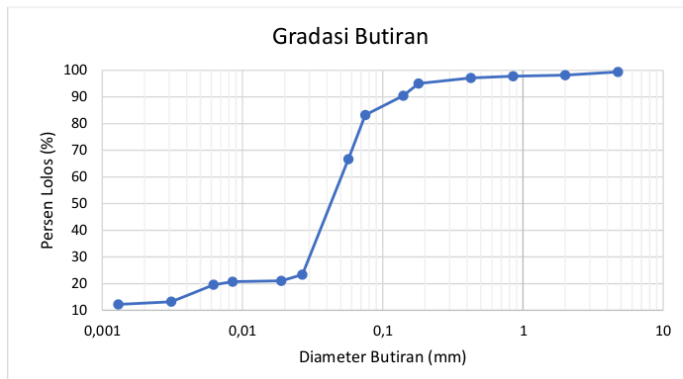
Sumber : Laporan Akhir Identifikasi Ruang Terbuka Hijau Kota Cirebon

4.2.2. Lokasi Pengambilan Sample Tanah

lokasi pengambilan sampel yang representatif, di area fasilitas umum (seperti taman atau jalan) maupun permukiman. Metode Pengambilan menggunakan alat seperti cangkul, bor tanah untuk mengambil sampel dengan kedalaman 2 m. Pengeringan sampel tanah dalam oven pada suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hingga beratnya stabil, untuk menghilangkan kelembaban yang dapat mempengaruhi hasil uji, penggilingan tanah jika diperlukan untuk mendapatkan ukuran partikel yang lebih seragam. Dalam hal ini pengambilan sampel dan pengujian dilakukan oleh praktikum mahasiswa di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Swadaya Gunung Jati Cirebon.

4.2.3. Hasil Analisa Gradasi Tanah (Uji Saringan-Hidrometer)

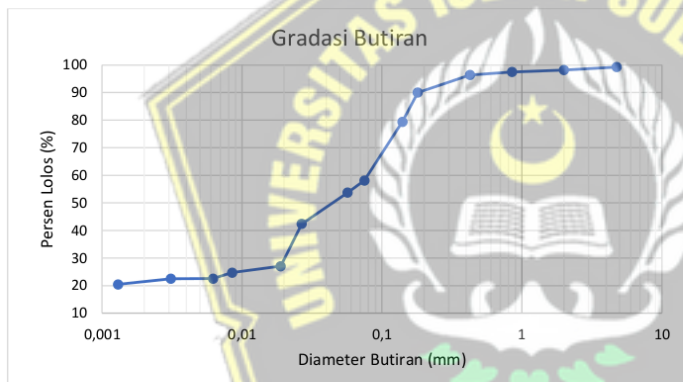
Hasil analisa gradasi tanah pada lokasi fasilitas umum dengan komposisi 20,01% lempung, 76,43% lanau, dan 3,56% pasir.



Sumber Hasil perhitungan

Gambar 4.8. Gradasi Butiran Tanah Pada Fasilitas Umum

Hasil analisis gradasi tanah pada lokasi permukiman dengan komposisi 30,10% lempung, 65,15% lanau, dan 4,75% pasir. Dari kedua pengujian tersebut diatas tanah di dominasi oleh tanah jenis lanau



Sumber Hasil perhitungan

Gambar 4.9. Gradasi Butiran Tanah Pada Permukiman

4.2.4. Parameter Infiltrasi Horton

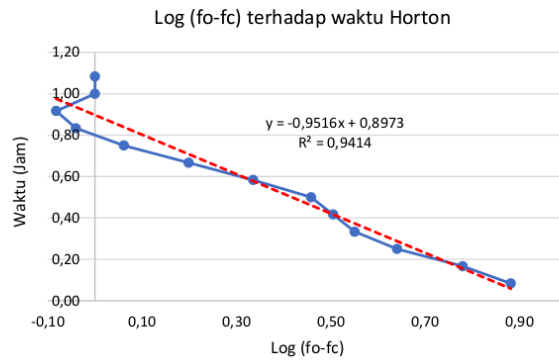
Pada perhitungan parameter infiltrasi data yang digunakan adalah hasil pengambilan metode double ring, data tanah untuk lokasi fasilitas umum dan data tanah lokasi permukiman. Pembahasan dimulai dari hasil perhitungan dan analisis lokasi fasilitas umum dengan metode Horton, data tersebut akan diolah lagi sehingga menghasilkan kurva Horton dan laju infiltrasi dalam (cm/jam) pada Tabel 4.14

Tabel 4.14. Perhitungan Lokasi Fasilitas Umum

No	Waktu		Penurunan (cm)	fo (cm/jam)	fc (cm/jam)	fo-fc (cm/jam)	log(fo-fc)
	(menit)	(jam)					
1	5	0,083	10,20	12,24	4,63	7,62	0,88
2	10	0,167	8,88	10,65	4,63	6,02	0,78
3	15	0,250	7,50	9,00	4,63	4,37	0,64
4	20	0,333	6,82	8,18	4,63	3,55	0,55
5	25	0,417	6,52	7,83	4,63	3,20	0,50
6	30	0,500	6,25	7,50	4,63	2,87	0,46
7	35	0,583	5,66	6,79	4,63	2,17	0,34
8	40	0,667	5,17	6,21	4,63	1,58	0,20
9	45	0,750	4,82	5,78	4,63	1,15	0,06
10	50	0,833	4,62	5,54	4,63	0,91	-0,04
11	55	0,917	4,55	5,45	4,63	0,83	-0,08
12	60	1,000	3,86	4,63	4,63	0,00	0,00
13	65	1,083	3,86	4,63	4,63	0,00	0,00

Sumber Hasil perhitungan

Pada perhitungan untuk konstanta jenis tanah (k) yaitu dengan menggunakan nilai parameter infiltrasi yang sudah didapat sebelumnya, yaitu fo dan fc, yang kemudian dari tabel sudah diolah menjadi log (fo - fc). akan terbentuk kurva untuk mencari gradien m dengan persamaan linier regresi. Yang dimana $y = mx + c$ atau $y = t$ dan $x = \log (fo - fc)$ sehingga dari grafik tersebut nilai k dapat dihitung dengan rumus $k = -1/(m \log e)$ atau $k = m$, dimana m adalah gradien yang didapat dari kurva log (fo - fc) terhadap waktu (jam), lihat pada Gambar 4.10



Sumber Hasil perhitungan

Gambar 4.10. Log (fo – fc) Terhadap Waktu Metode Horton Fasilitas Umum

Dari grafik diatas dengan regresi linear didapatkan nilai kemiringan (m) sebesar -0,9516. Tanda negatif menunjukkan bahwa f(t) berkurang dengan bertambahnya waktu. Selanjutnya nilai m diperoleh dari hasil yang muncul pada grafik kemudian untuk mendapatkan nilai k dihitung dengan persamaan

$$K = -1 / (m \log e)$$

$$= 2,4199$$

Dari nilai k diatas maka laju resapan terhadap waktu dapat dihitung dengan memasukan nilai k, pada persamaan, besaran seterusnya dapat dilihat pada Tabel 4.15. di bawah

$$f(t) = fc + (fo - fc)e^{-kt}$$

$$f(t) = 4,63 + (7,62) e^{-2,4199 \cdot t}$$

$$= 10,85 \text{ cm/jam}$$

Kemudian hitungan tersebut diatas dibuatkan dalam bentuk tabel dimulai dari t = 0,83 jam hingga t = 1,083 jam. Hasil dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel. 4.15. Hasil Perhitungan Resapan Pada Lokasi Fasilitas Umum

t (jam)	f ₀ (cm/jam)	f _c (cm/jam)	e	f(t) (cm/jam)
0,083	12,24	4,63	2,718	10,85
0,167	10,65	4,63	2,718	8,65
0,250	9,00	4,63	2,718	7,02
0,333	8,18	4,63	2,718	6,21
0,417	7,83	4,63	2,718	5,79
0,500	7,50	4,63	2,718	5,48
0,583	6,79	4,63	2,718	5,16
0,667	6,21	4,63	2,718	4,94
0,750	5,78	4,63	2,718	4,81
0,833	5,54	4,63	2,718	4,75
0,917	5,45	4,63	2,718	4,72
1,000	4,63	4,63	2,718	4,63
1,083	4,63	4,63	2,718	4,63

Sumber Hasil perhitungan

Pada tabel 4.15. dapat dilihat, pengukuran resapan pada fasilitas umum menunjukkan bahwa laju resapan mulai konstan pada waktu setelah 55 menit atau 0,917 jam dengan laju resapan 4,63 cm/jam.



Sumber Hasil perhitungan

Gambar 4.11. Laju Resapan Lokasi Fasilitas Umum

Dari Gambar 4.11. tersebut dapat diketahui bahwa laju infiltrasi awal, memiliki nilai laju infiltrasi yang tinggi. Sedangkan semakin lamanya resapan air terhadap waktu laju infiltrasi akan berkurang dan melambat bahkan sampai laju infiltrasi konstan. Hal ini dikarenakan tanah yang sudah jenuh terhadap air, lihat pada Tabel 4.16 sebagai berikut.

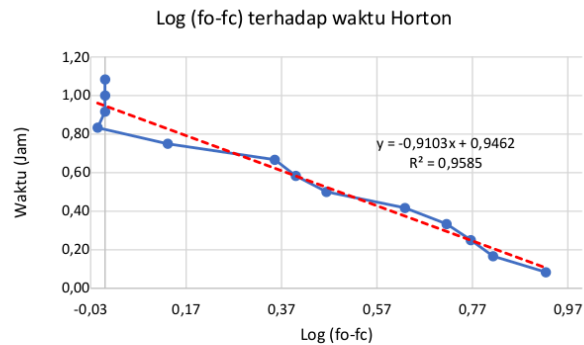
Untuk pengolahan data lokasi permukiman langkah yang dilakukan adalah sama dengan lokasi fasilitas umum yaitu perhitungan parameter infiltrasi dengan metode Horton, data tersebut akan diolah lagi sehingga menghasilkan kurva Horton dan laju infiltrasi dalam (cm/jam) pada Tabel 4.16

Tabel 4.16. Perhitungan Lokasi Permukiman

No	Waktu		Penurunan (cm)	fo (cm/jam)	fc (cm/jam)	fo-fc (cm/jam)	log(fo-fc)
	(menit)	(jam)					
1	5	0,083	10,95	13,14	4,75	8,39	0,92
2	10	0,167	9,38	11,25	4,75	6,50	0,81
3	15	0,250	8,82	10,59	4,75	5,84	0,77
4	20	0,333	8,29	9,94	4,75	5,20	0,72
5	25	0,417	7,50	9,00	4,75	4,25	0,63
6	30	0,500	6,38	7,66	4,75	2,91	0,46
7	35	0,583	6,05	7,26	4,75	2,51	0,40
8	40	0,667	5,63	7,02	4,75	2,27	0,36
9	45	0,750	4,67	6,10	4,75	1,35	0,13
10	50	0,833	4,30	5,71	4,75	0,96	0,02
11	55	0,917	3,96	4,75	4,75	0,00	0,00
12	60	1,000	3,96	4,75	4,75	0,00	0,00
13	65	1,083	3,97	4,75	4,75	0,00	0,00

Sumber Hasil perhitungan

Pada perhitungan untuk konstanta jenis tanah (k) yaitu dengan menggunakan nilai parameter infiltrasi yang sudah didapat sebelumnya, yaitu fo dan fc, yang kemudian dari tabel sudah diolah menjadi log (fo - fc). akan terbentuk kurva untuk mencari gradien m dengan persamaan linier regresi. Yang dimana $y = mx + c$ atau $y = t$ dan $x = \log (fo - fc)$ sehingga dari grafik tersebut nilai k dapat dihitung dengan rumus $k = -1/(m \log e)$ atau $k = m$, dimana m adalah gradien yang didapat dari kurva log (fo - fc) terhadap waktu (jam), lihat pada Gambar 4.12



Sumber Hasil perhitungan

Gambar 4.12. Log (fo – fc) Terhadap Waktu Metode Horton Lokasi Permukiman

Dari grafik diatas dengan regresi linear didapatkan nilai kemiringan (m) sebesar -0,9103 Tanda negatif menunjukan bahwa f(t) berkurang dengan bertambahnya waktu. Selanjutnya nilai m diperoleh dari hasil yang muncul pada grafik kemudian untuk mendapatkan nilai k dihitung dengan persamaan

$$K = -1 / (m \log e)$$

$$= 2,5297$$

Dari nilai k diatas maka laju resapan terhadap waktu dapat dihitung dengan memasukan nilai k, pada persamaan, besaran seterusnya dapat dilihat pada tabel 4.17. di bawah

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c) e^{-Kt}$$

$$f(t) = 4,75 + (8,39) e^{-2,5297 \cdot t}$$

$$= 11,54 \text{ cm/jam}$$

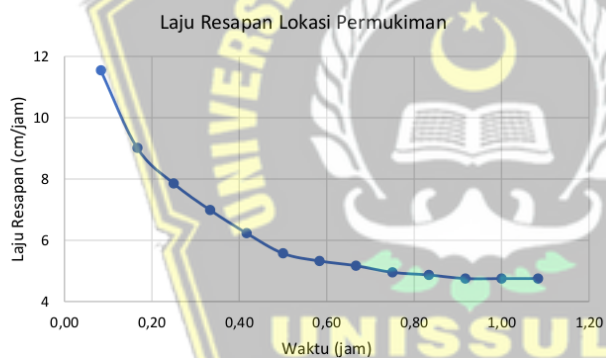
Kemudian hitungan tersebut diatas dibuatkan dalam bentuk tabel dimulai dari t = 0,83 jam hingga t = 1,083 jam, hasil dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Hasil Perhitungan Resapan Pada Lokasi Permukiman

t (jam)	f ₀ (cm/jam)	f _c (cm/jam)	e	f(t) (cm/jam)
0,083	13,14	4,75	2,718	11,54
0,167	11,25	4,75	2,718	9,01
0,250	10,59	4,75	2,718	7,85
0,333	9,94	4,75	2,718	6,99
0,417	9,00	4,75	2,718	6,23
0,500	7,66	4,75	2,718	5,57
0,583	7,26	4,75	2,718	5,32
0,667	7,02	4,75	2,718	5,17
0,750	6,10	4,75	2,718	4,95
0,833	5,71	4,75	2,718	4,87
0,917	4,75	4,75	2,718	4,75
1,000	4,75	4,75	2,718	4,75
1,083	4,75	4,75	2,718	4,75

Sumber Hasil perhitungan

Pada Gambar 4.13 dapat dilihat, pengukuran resapan pada fasilitas umum menunjukkan bahwa laju resapan mulai konstan pada waktu setelah 50 menit atau 0,833 jam dengan laju resapan 4,75 cm/jam.



Sumber Hasil perhitungan

Gambar 4.13. Laju Resapan Lokasi Permukiman

4.2.5. Permeabilitas Tanah

Hubungan antara permeabilitas tanah dan persamaan Horton terletak pada pengaruh permeabilitas terhadap infiltrasi air ke dalam tanah. Persamaan Horton digunakan untuk memodelkan laju infiltrasi tanah (kecepatan masuknya air ke dalam tanah) sebagai fungsi waktu, yang sangat dipengaruhi oleh sifat permeabilitas tanah.

Persamaan Horton

Persamaan Horton menyatakan bahwa laju infiltrasi $f(t)$ menurun secara eksponensial dari nilai awalnya f_o hingga mencapai laju infiltrasi akhir f_c :

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$$

Di mana:

- $f(t)$ = laju infiltrasi pada waktu t (cm/jam atau mm/jam)
- f_o = laju infiltrasi awal (cm/jam)
- f_c = laju infiltrasi akhir (cm/jam), biasanya mendekati kapasitas permeabilitas tanah
- k = konstanta penurunan laju infiltrasi (1/jam)
- t = waktu (jam)

Hubungan Horton dengan Permeabilitas Tanah

1. Laju Infiltrasi Akhir (f_c)

- f_c sering kali mendekati koefisien permeabilitas tanah k .
- Tanah dengan permeabilitas tinggi (pasir) memiliki f_c yang besar, sedangkan tanah dengan permeabilitas rendah (lempung) memiliki f_c yang kecil.

2. Jenis Tanah

- Permeabilitas memengaruhi jenis kurva infiltrasi.
 - Tanah berpasir: $f(t)$ menurun dengan cepat karena permeabilitas tinggi memungkinkan infiltrasi lebih cepat.

- Tanah lempung: $f(t)$ menurun perlahan karena permeabilitas rendah membatasi laju infiltrasi.

3. Faktor Penurunan (k)

- Nilai konstanta k dalam persamaan Horton mencerminkan seberapa cepat tanah mencapai laju infiltrasi akhir. Tanah berpermeabilitas tinggi cenderung memiliki nilai k yang lebih kecil, sehingga laju infiltrasi cepat stabil.

4. Saturasi dan Porositas

- Permeabilitas tanah dipengaruhi oleh porositas dan tingkat saturasi. Semakin jenuh tanah, semakin rendah permeabilitasnya, yang berdampak langsung pada pola infiltrasi sesuai model Horton.

Penerapan di Lapangan

Ketika menggunakan persamaan Horton untuk penelitian ini, pengukuran permeabilitas tanah digunakan untuk memperkirakan f_c dan mengkalibrasi model. Permeabilitas tanah secara langsung memengaruhi parameter dalam persamaan Horton, terutama f_c , yang menentukan kapasitas maksimum tanah untuk menyerap air.

4.3. Analisis Reduksi Limpasan Air Hujan Menggunakan Kotak Infiltrasi

Untuk menghitung jumlah resapan total (V_t) selama waktu (t) maka dari persamaan Horton tersebut dilakukan integral dari persamaan Horton yang menghasilkan luasan dibawah kurva, yaitu :

$$V(t) = f_c \cdot t + \frac{(f_o - f_c)}{K} (1 - e^{-K \cdot t})$$

Untuk mendapatkan laju resapan awal (f_o) adalah dengan membuat kurva fitting resapan dari data waktu(t) dan laju resapan (f_t). Berikut hasil dari kurva fitting pada lokasi fasilitas umum dengan menggunakan Excel.



Sumber Hasil perhitungan

Gambar 4.14. Kurva Fitting Persamaan Horton Fasilitas Umum

10
Dari fitting kurva Horton diperoleh

$$f_0 = 15,21 \text{ cm/jam}$$

$$f_c = 4,75 \text{ cm/jam}$$

$$k = 2,5297$$

$$t = 1 \text{ jam (peresapan konstan)}$$

138
Luas Kotak infiltrasi dengan dimensi Panjang 1,00 m x Lebar 0,50 m x tinggi 0,45m, mempunyai luas permukaan

Luas Permukaan

$$= 2 \times (0,45 \times 0,50) + 2 \times (0,45 \times 1,00) + (0,50 \times 0,45)$$

$$= 1,85 \text{ m}^2$$

Sedangkan volume kotak infiltrasi:

$$\text{Volume} = P \times L \times T$$

$$= 1,00 \text{ m} \times 0,50 \text{ m} \times 0,45 \text{ m}$$

$$= 0,225 \text{ m}^3$$

Dengan 3 dimensi hasil hitung volume adalah 0,1775 m³ di bulatkan 0,18 m³ atau setara dengan 180 liter. Dengan menggunakan persamaan horton (untuk mencari luasan kurva) diperoleh

$$V(t) = f_c \cdot t + \frac{(f_o - f_c)}{K} (1 - e^{-K \cdot t})$$

$$V(t) = 4,75 \times 1 + \frac{(15,21 - 4,75)}{2,5297} (1 - 2,718^{-2,5297 \times 1})$$

$$= 8,556 \text{ cm}$$

$$= 0,086 \text{ m}$$

volume air yang meresap selama 1 jam pertama (peresapan mulai konstan) dengan luasan kotak infiltrasi 1,85 cm² adalah

$$V = V(t) \times \text{Luas bidang kotak infiltrasi}$$

$$V = 0,086 \times 1,85$$

$$= 0,159 \text{ m}^3$$

Volume kotak infiltrasi dengan dimensi adalah 0,18 m³, air yang dapat di tampung dan diresapkan pada 1 jam pertama adalah:

$$\text{Volume kotak} = \text{Vol. resapan} \times \text{Vol. Kotak infiltrasi}$$

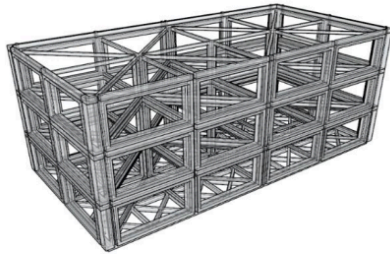
$$= 0,159 \times 0,18$$

$$= 0,0296 \text{ m}^3$$

Volume kotak infiltrasi per unit dapat menampung dan meresapkan waktu 20 menit dan 15 menit

Untuk 20 menit volume kotak infiltrasi 1 buah = 0,0095 m³

Untuk 15 menit volume kotak infiltrasi 1 buah = 0,0072 m³



Gambar 4.15. Bentuk Tiga Dimensi Kotak Infiltrasi dengan ukuran
1,00m x 0,50m x 0,45m

Desain Kotak infiltrasi yang terbuat dari bahan plastik dengan ukuran lebar 0,50 m, tinggi 0,45 m, dan panjang 1,00 m, serta memiliki rongga, memiliki desain yang memanfaatkan prinsip void space (ruang kosong) untuk mendukung proses infiltrasi air ke dalam tanah. Rongga berlubang pada kotak infiltrasi memiliki beberapa fungsi dan kegunaan penting dalam meningkatkan efisiensi sistem infiltrasi. Berikut adalah beberapa fungsi dan manfaatnya:

a. Meningkatkan Kapasitas Penampungan Air

Rongga kotak infiltrasi meningkatkan kapasitas total ruang di dalam kotak. Dengan desain berongga tersebut, air hujan dapat ditampung lebih banyak dalam ruang-ruang kosong ini. Hal ini membantu untuk menampung volume air hujan yang lebih besar dan memberi waktu lebih banyak bagi air untuk meresap ke dalam tanah.

b. Mempermudah Infiltrasi Air

Rongga berlubang membantu menciptakan saluran atau jalur untuk air hujan mengalir lebih bebas ke dalam tanah. Dengan adanya rongga dan lubang-lubang ini, air hujan tidak hanya tergenang di dalam kotak, tetapi juga memiliki jalur yang mempercepat proses infiltrasi atau penyerapan ke dalam tanah.

c. Menurunkan Tekanan Air

Lubang-lubang pada rongga membantu menurunkan tekanan air yang ada di dalam kotak infiltrasi. Dengan adanya ruang berongga dan saluran di dalamnya, air dapat mengalir dan meresap secara lebih merata ke dalam

tanah, menghindari akumulasi tekanan yang dapat merusak struktur kotak atau menyebabkan air tumpah keluar dari kotak.

d. Meningkatkan Kecepatan Drainase

Rongga dengan lubang yang saling terhubung berfungsi sebagai saluran drainase internal yang membantu mengalirkan air dengan lebih cepat. Dengan cara ini, air hujan yang masuk ke dalam kotak infiltrasi dapat dengan lebih efisien dialirkan ke saluran bawah tanah atau ke reservoir tanah tanpa menunggu terlalu lama.

b. Mengurangi Erosi Tanah

Dengan meningkatkan efisiensi infiltrasi air dan mengurangi jumlah air limpasan yang mengalir ke saluran drainase atau sungai, kotak infiltrasi dengan rongga juga membantu mengurangi potensi erosi tanah. Air yang meresap ke dalam tanah memperkuat struktur tanah dan mengurangi terjadinya pengikisan permukaan tanah.

Secara keseluruhan, desain kotak infiltrasi yang berongga dengan rongga dan lubang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi penyerapan air hujan, mengurangi risiko banjir, menjaga kualitas air tanah, serta mendukung pengelolaan air hujan yang lebih baik dan ramah lingkungan.

Analisis Kotak Infiltrasi diperlukan

Desain kebutuhan ruang untuk penempatan kotak infiltrasi di median jalan dengan panjang 11 m, lebar 1,00 m dan tinggi 0,90 m, penataan dan penumpukan secara memanjang membentuk 2 baris dan 2 layer, dari dimensi ruang 11m x 1,00m x 0,49m di butuhkan 44 buah kotak infiltrasi. Sehingga total volume adalah :

Untuk 20 menit volume kotak infiltrasi = $0,0095 \text{ m}^3 \times 44 = 0,2100 \text{ m}^3$

Untuk 15 menit volume kotak infiltrasi = $0,0072 \text{ m}^3 \times 44 = 0,1575 \text{ m}^3$

Hujan ekstrim kota Cirebon rata rata 128,187mm pada Tabel 4.11 dan 4.12 khusus lokasi penelitian yang berada di Jalan Taman Pemuda 3, lihat tabel 4.12 nomor 8 kejadian banjir, dengan intensitas curah hujan lihat tabel 4.9 maka diperhitungkan debit rencana 2, 5 dan 10 tahunan. Untuk mendapatkan nilai Efektifitas dari kotak

infiltrasi maka dilakukan analisis dengan melakukan perhitungan dengan durasi waktu untuk 15 menit dan 20 menit. dapat dibuat tabel reduksi air hujan dalam 0,250 jam pertama dan 0,333 kedua saat hujan.

Luas area

$$A = 11,42 \text{ ha} = 114,200 \text{ m}^2$$

Durasi 15 menit

Debit rencana :

$$Q_2 = 0,384 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_5 = 0,488 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{10} = 0,557 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Durasi 20 menit

Debit rencana :

$$Q_2 = 0,362 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_5 = 0,377 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{10} = 0,430 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Intensitas hujan:

$$I_2 = 108,291 \text{ mm/jam}$$

$$I_5 = 137,361 \text{ mm/jam}$$

$$I_{10} = 156,860 \text{ mm/jam}$$

Intensitas hujan:

$$I_2 = 83,707 \text{ mm/jam}$$

$$I_5 = 106,177 \text{ mm/jam}$$

$$I_{10} = 121,249 \text{ mm/jam}$$

Tabel 4.18. Reduksi Limpasan Periode ulang 2, 5 dan 10 dengan durasi 15 menit

No	Periode Ulang (tahun)	Luas (ha)	Q Rencana (m ³ /detik)	Q Saluran (m ³ /detik)	Q Limpasan (m ³ /detik)	Q Tampungan dan Resapan (m ³ /detik)	Reduksi Q Limpasan (%)
1	2	11,42	0,384	0,122	0,263	0,1575	59,98%
2	5	11,42	0,488	0,122	0,366	0,1575	43,06%
3	10	11,42	0,557	0,122	0,435	0,1575	36,21%

Sumber Hasil perhitungan

Berdasarkan curah hujan ektrim 128,187mm, maka diambil intensitas curah hujan yang hampir menyamai yaitu 137,361mm yang terjadi pada periode ulang 5 tahun dengan durasi waktu 15 menit, setelah mendapatkan hasil maka dilakukan perbandingan dengan durasi 20 menit seperti tabel dibawah

Tabel 4.19 Reduksi Limpasan Periode ulang 2, 5 dan 10 dengan durasi 20 menit

No	Periode Ulang (tahun)	Luas (Ha)	Q Rencana (m ³ /detik)	Q Saluran (m ³ /detik)	Q Limpasan (m ³ /detik)	Q Tampungan dan Resapan (m ³ /detik)	Reduksi Q Limpasan (%)
1	2	11,42	0,362	0,122	0,240	0,2100	87,40%
2	5	11,42	0,377	0,122	0,255	0,2100	82,32%
3	10	11,42	0,430	0,122	0,309	0,2100	68,05%

Sumber Hasil perhitungan

Dari hasil perbandingan tersebut diatas di dapat pada saat periode ulang dengan durasi 20 menit kotak infiltrasi dapat mereduksi limpasan dari 68,05% hingga 87,40%, sedangkan periode ulang dengan durasi 15 menit kotak infiltrasi dapat mereduksi limpasan 36,21% hingga 59,98%.

Kapasitas tampungan kotak infiltrasi adalah sebesar 0,1575m³/detik untuk durasi 15 menit, sedangkan durasi 20 menit sebesar 0,2100m³/detik.

- Untuk periode ulang 2,5 dan 10 tahun dengan durasi 20 menit , sebagian besar limpasan dapat diserap oleh kotak infiltrasi, hanya tersisa 0,0303 m³/detik, 0,0451 m³/detik dan 0,0986 m³/detik.
- Untuk periode ulang 2 tahun dengan durasi 15 menit, kapasitas kotak mulai kurang mencukupi diserap oleh kotak infiltrasi, 0,1051 m³/detik untuk durasi 15 menit yang tersisa.
- Untuk periode ulang 5 tahun dengan durasi 15 menit, kapasitas kotak kurang mencukupi, dengan 0,2083 m³/detik untuk durasi 15 menit limpasan yang tidak tertampung.
- Untuk periode ulang 10 tahun dengan durasi 15 menit, kapasitas kotak tidak mencukupi, limpasan melebihi kapasitas kotak 0,2775 m³/detik

Besarnya kecilnya reduksi limpasan di pengaruhi perbedaan intensitas. Hubungan debit saluran dan debit limpasan yaitu semakin besar intensitas hujan, semakin besar debit limpasan yang harus ditangani oleh kotak infiltrasi. Dari hasil analisis reduksi debit limpasan adalah Semakin besar periode ulang, efektivitas reduksi debit limpasan oleh kotak infiltrasi menurun karena limpasan yang masuk meningkat melebihi kapasitas infiltrasi.

Hubungan Intensitas Hujan dan Debit, Debit rencana meningkat seiring meningkatnya intensitas curah hujan. Debit limpasan meningkat ketika debit rencana lebih besar dari kapasitas saluran. Peran Kotak Infiltrasi, Kotak infiltrasi efektif mengurangi debit limpasan secara signifikan pada periode ulang 2,5 dan 10 tahun untuk durasi 20 menit. Pada periode ulang 2,5, dan 10 tahun untuk durasi 15 menit, kotak infiltrasi mulai tidak cukup untuk menampung limpasan, sehingga

diperlukan tambahan jumlah dari kotak infiltrasi lebih dari 44 buah dan penambahan sumur resapan.

35 Untuk periode ulang 2,5 dan 10 dengan durasi 15 menit, kapasitas kotak infiltrasi harus ditingkatkan atau dikombinasikan dengan metode tambahan sumur resapan. Penggunaan sistem drainase yang lebih besar diperlukan untuk menangani sisa limpasan saat intensitas hujan tinggi.

4.4. Uji Model ke-1 Kotak Infiltrasi Sederhana

Wadah kotak infiltrasi sederhana merupakan salah satu upaya jangka panjang untuk mengurangi banjir kota dengan cara meningkatkan serapan air tanah, mengingat sebagian besar daerah kota merupakan kawasan terbangun dan mempunyai lahan yang sempit. Kotak infiltrasi ini sangat cocok penempatannya pada daerah yang sempit dan penempatannya berada di daerah lapis bawah permukaan dan sangat mudah dalam pemasangan. Dengan dimensi kotak infiltrasi ini dapat di bangkar pasang sesuai kebutuhan dan permasalahan kawasan, penempatan sangat fleksibel untuk median jalan, saluran drainasi, taman, tempat parkir, lapangan dan masih banyak di sesuaikan dengan kebutuhan. Oleh karena itu penelitian ini di buat suatu model wadak kotak infiltrasi berbentuk kotak, dengan pertimbangan sangat mudah perawatan, pengangkatan, penempatan, pemasangan.



Gambar 4.16. Model Kotak Infiltrasi Sederhana

Model kotak infiltrasi sederhana menggunakan ukuran 100 x 50 x 45 cm yang terbuat dari bahan kaca ketebalan 5 mm, kotak ini bekerja dengan cara menampung air hujan atau limpasan permukaan. Ketika air masuk ke dalam kotak akan melalui lapisan bahan. Air pertama-tama akan meresap melalui tanah yang lolos saringan No. 10. Proses ini memungkinkan air untuk diserap oleh tanah secara bertahap, mengurangi risiko genangan dan meningkatkan ketersediaan air tanah. Model ini akan dialirkan air secara merata pada saat hujan kejadian sangat lebat atau ekstrim yaitu sebesar 0,109 liter/detik. Dengan desain ini kotak infiltrasi sederhana berfungsi sebagai sistem pengelolaan air yang efektif, mengurangi aliran permukaan yang dapat menyebabkan banjir.

Kegiatan pengujian infiltrasi dan pengujian tanah merupakan langkah penting dalam memahami karakteristik dan perilaku tanah, yang sangat berpengaruh terhadap perencanaan dan pelaksanaan. Melalui pengujian infiltrasi, dapat mengevaluasi seberapa cepat air dapat meresap ke dalam tanah, sementara pengujian tanah mengenai sifat fisik dan mekanik tanah. Pada pengujian model tampungan, kotak infiltrasi dengan ukuran 100 x 50 x 45 cm, saringan no 10, pipa pvc dengan ukuran 3/4 inch, stopwatch, gelas ukuran 1000 ml dan 100 ml, penggaris, ember, botol.

Penggunaan dan penempatan kotak infiltrasi pada lahan sempit sangat penting untuk mengoptimalkan pengelolaan air dan mengurangi risiko genangan. Dengan merancang kotak infiltrasi yang sesuai, dapat memaksimalkan kapasitas resapan air hujan ke dalam tanah, bahkan di area terbatas. Penempatan tampungan dan resapan yang strategis, seperti genangan pada jalan lurus dan tikungan akibat kemiringan kearah median, saluran, lapangan atau seperti di dekat permukaan yang lebih tinggi atau di area dengan vegetasi yang baik, akan meningkatkan efektivitas dalam menyerap air dan memperbaiki kualitas tanah.

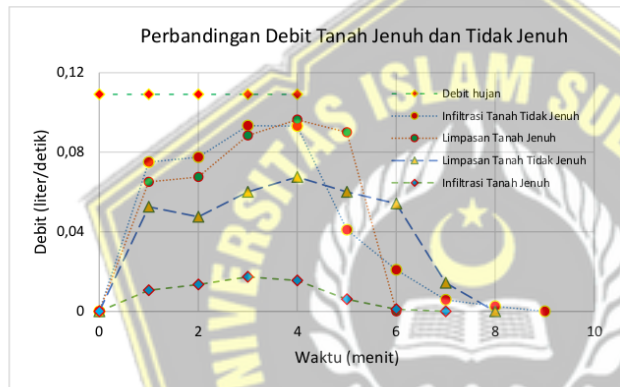
Kemampuan model kotak infiltrasi sederhana dalam meresapkan air limpasan, pada saat tanah dengan kondisi yang tak jenuh, menyebabkan tanah langsung menyerap sebagian air hujan sehingga limpasan yang terjadi cukup kecil.

penyerapan ini akibat pori tanah yang masih kosong sehingga dengan cepat mengkosongkan permukaan model yang tergenang

4.4.1. Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Jenuh

Pada kondisi tanah jenuh, pada saat ini ruang kosong mulai terbatas pada pori tanah untuk menampung air, sehingga air yang jatuh akan mengalir ke permukaan dan menjadi limpasan.

Apabila curah hujan sebesar 0,109 liter/detik terus turun setelah tanah jenuh, limpasan akan lebih tinggi atau hampir mendekati atau sama dengan curah hujan tersebut, karena tanah tidak lagi dapat menyerap air. Pada menit ke 3 dengan debit limpasan 0,088 liter/detik dan ke menit ke 4 debit limpasan 0,096 liter/detik, apabila menit ke 4 pompa belum dihentikan debit limpasan akan terus naik dan kemungkinan akan menyamai debit curah hujan.



Gambar 4.17. Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh

Gambar 4.17 di atas menunjukkan perubahan limpasan dan infiltrasi terhadap waktu untuk tanah dalam kondisi jenuh. Limpasan (Runoff), sangat tinggi sejak awal, menunjukkan bahwa tanah tidak mampu menyerap banyak air karena sudah jenuh. Limpasan terus meningkat selama aliran debit diberikan hingga menit

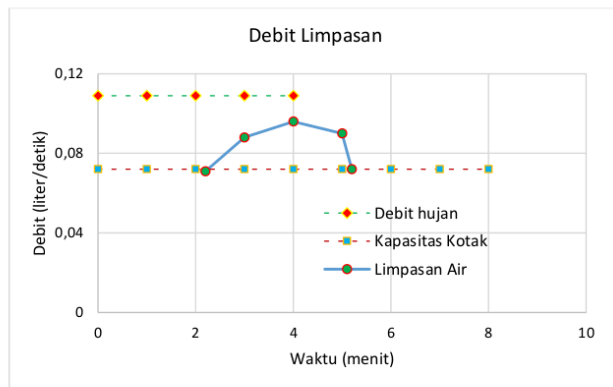
ke-4. Setelah aliran dihentikan, limpasan mulai menurun seiring habisnya air permukaan. Laju infiltrasi sangat kecil karena tanah dalam kondisi jenuh. Sebagian kecil air tetap meresap ke tanah pada menit-menit awal hingga menit ke 4, setelah menit ke 4 nilainya terus menurun hingga mendekati nol. Setelah menit ke 6, infiltrasi sepenuhnya berhenti.

Pergerakan air pada tanah jenuh, sebagian air dari aliran akan menjadi limpasan. Hanya sebagian kecil air yang mampu masuk ke tanah, terutama di awal aliran. Ini disebabkan oleh sedikit ruang pori yang mungkin masih tersedia meskipun tanah jenuh. Tanah jenuh memiliki kapasitas infiltrasi yang sangat rendah, sehingga limpasan mendominasi aliran air. Dalam uji ini menggambarkan pentingnya mempertimbangkan kondisi tanah dalam analisis hidrologi, terutama untuk prediksi banjir atau desain drainase. Dengan memahami perilaku tanah jenuh, dapat diambil langkah-langkah untuk mengelola air limpasan, perbaikan struktur tanah atau penambahan sistem drainase.

Debit Limpasan

Tanah dalam wadah kotak telah mencapai kondisi jenuh, sehingga ruang pori tanah tidak lagi mampu menahan tambahan air. Akibatnya, hampir seluruh air yang dialirkan menjadi limpasan. Debit konstan 109 L/detik menyebabkan aliran air merata di atas permukaan tanah. Pergerakan air limpasan permukaan, begitu air dialirkan, sebagian besar langsung mengalir di atas permukaan tanah karena tidak ada lagi kapasitas infiltrasi. Genangan kecil terjadi di permukaan tanah karena ketidakteraturan distribusi tanah. Namun, air dengan cepat menjadi limpasan karena debit masuk cukup besar. Debit limpasan mencapai nilai maksimum mendekati debit masuk selama 4 menit pertama, menunjukkan bahwa tanah jenuh tidak mampu menahan tambahan air.

Debit limpasan terjadi ketika hujan terus berlangsung, hal ini terjadi pada menit ke dua, debit sudah menyamai batas tampungan kotak sebesar 0,072 liter/detik yaitu sebesar 0,071 liter/detik dan terus naik 0,088 liter/detik pada menit ke tiga hingga menit ke empat sebesar 0,096 liter/detik dan pompa di matikan pada menit ke empat. Pergerakan dapat dilihat pada gambar dibawah.

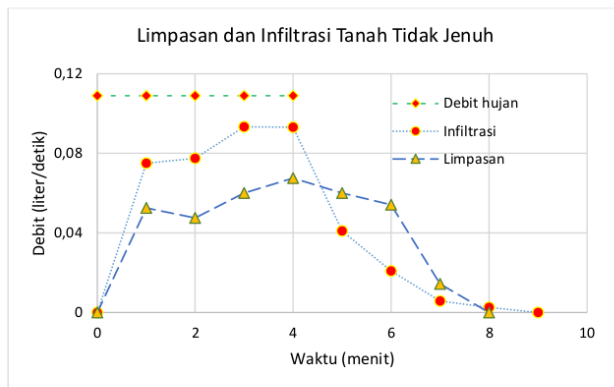


Gambar 4.18. Kejadian Limpasan

4.4.2. Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Tidak Jenuh

Pada kondisi tanah tidak jenuh, air yang dialirkan sebagian besar akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) hingga tanah mendekati kejenuhan. Nilai limpasan meningkat secara bertahap seiring berjalannya waktu selama debit masuk diberikan. Ini karena tanah mulai mencapai kapasitas infiltrasi maksimum. Setelah debit dihentikan pada menit ke 4, limpasan tetap ada tetapi volumenya menurun hingga habis setelah menit ke 9. Laju infiltrasi tinggi pada menit-menit awal karena tanah tidak jenuh. Namun, infiltrasi berkurang karena tanah mendekati kejenuhan. Setelah debit dihentikan, infiltrasi masih tetap berlangsung dan berhenti karena tidak ada air tambahan di menit ke 8.

Pada kondisi tak jenuh pada awalnya akan menunjukkan penyerapan air yang relatif tinggi pada menit 1 yaitu sebesar 0,053 liter/detik, setelah beberapa waktu dan tergantung pada kapasitas infiltrasi tanah dan jumlah curah hujan, ketika tanah mulai mendekati kondisi jenuh menit ke 3 dengan besaran debit 0,060 liter/detik dan menit ke 4 dengan besaran debit 0,068 liter/detik, debit mulai menunjukkan peningkatan limpasan. Ini menandakan bahwa tanah mulai tidak mampu lagi menyerap seluruh air hujan, dan sebagian air mengalir sebagai limpasan permukaan.



Gambar 4.19. Limpasan dan Infiltrasi Tanah Tidak Jenuh

Pada Gambar 4.19. Merupakan grafik besaran debit limpasan dan infiltrasi tanah dalam keadaan tidak jenuh, pada kondisi ini diawali menit ke nol belum terjadi aliran infiltrasi, setelah berlangsung pengujian selama satu menit baru terdapat pergerakan aliran debit infiltrasi tanah tidak jenuh.

Pada awalnya, tanah tidak jenuh lihat Gambar 4.19, memiliki pori-pori yang sebagian besar kosong (terisi udara) yaitu sebesar 0,053 liter/detik pada menit 1 ketika curah hujan dimulai, air pertama-tama akan mengisi ruang pori tersebut. Selama tanah belum jenuh, infiltrasi bisa terjadi dengan cepat jika tanah memiliki kapasitas infiltrasi yang baik. Namun, jika curah hujan terlalu tinggi atau terus-menerus, kapasitas infiltrasi tanah akan jenuh, dan air yang jatuh tidak bisa lagi terserap. Pada titik ini, limpasan akan mulai terjadi pada menit ke 3 sebesar 0,060 liter/detik dan ke 4 sebesar 0,068 liter/detik sudah hampir mendekati kapasitas tampungan kotak infiltrasi 0,072 liter/detik

4.4.3. Efisiensi Model Kotak Infiltrasi Sederhana

Efisiensi dalam Tabel 4.20 dapat diartikan sebagai perbandingan antara debit limpasan yang terjadi pada kondisi tertentu terhadap kondisi ideal atau total air yang masuk ke dalam sistem. Dari tabel yang diberikan, efisiensi bisa dikaitkan

dengan bagaimana kondisi tanah (jenuh atau tidak jenuh) mempengaruhi jumlah limpasan air.

Penjelasan Efisiensi dari Tabel 4.20

- Tanah Jenuh memiliki debit limpasan yang lebih tinggi (0,0814 liter/detik) dengan persentase 74,69%. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar air yang jatuh ke permukaan langsung menjadi limpasan karena tanah sudah tidak bisa menyerap air lebih banyak.
- Tanah Tidak Jenuh memiliki debit limpasan yang lebih rendah (0,0509 liter/detik) dengan persentase 46,65%. Ini berarti tanah masih memiliki kemampuan untuk menyerap air, sehingga limpasan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan tanah jenuh.

Secara sederhana, efisiensi dalam hal ini dapat didefinisikan sebagai seberapa efektif tanah dalam mengurangi limpasan dan meningkatkan infiltrasi air. Jika tanah lebih banyak menyerap air (tanah tidak jenuh), maka limpasan lebih kecil, yang dapat dianggap lebih efisien dalam mendukung penyerapan air ke dalam tanah. Sebaliknya, tanah jenuh kurang efisien dalam mengurangi limpasan karena air langsung mengalir ke permukaan.

Tabel 4.20. Debit Limpasan

Kondisi	Debit Limpasan	
	(liter/detik)	%
Tanah jenuh	0,0814	74,69
Tanah tidak jenuh	0,0509	46,65

Sumber: Perhitungan

Debit infiltrasi rata-rata saat keadaan tak jenuh dan jenuh air dapat dilihat pada Tabel 4.21. Debit infiltrasi menggambarkan kemampuan tanah untuk menyerap air dalam kondisi tertentu. Kondisi tanah jenuh, air di pori-pori tanah mulai terbatas sehingga kemampuan menyerap air tambahan sangat rendah. Debit infiltrasi rendah (0,0266 L/detik) karena air hanya dapat masuk melalui aliran gravitasi, sedangkan untuk tanah tidak jenuh tanah memiliki ruang pori yang belum

terisi oleh air, sehingga debit infiltrasi lebih tinggi (0,0581 L/detik). Air diserap oleh kapilaritas dan gravitasi hingga mencapai kapasitas lapang.

Tabel 4.21. Debit Infiltrasi

Kondisi	Debit Infiltrasi	
	(litar/detik)	%
Tanah jenuh	0,0266	24,40
Tanah tidak jenuh	0,0581	53,28

Sumber: Perhitungan

Efisiensi tanah jenuh dengan persentase infiltrasi 24,40%, menunjukkan dari debit total air yang mampu terserap saat tanah sudah jenuh sisanya kemungkinan mengalir di permukaan sebagai limpasan, sedangkan efisiensi tanah tak jenuh dengan persentase infiltrasi 53,28%, efisiensi lebih tinggi pada tanah tak jenuh karena adanya ruang pori yang memungkinkan lebih banyak air terserap, tanah tak jenuh memiliki efisiensi infiltrasi hampir 3 kali lebih besar dibandingkan tanah jenuh hal ini mencerminkan pentingnya kondisi awal tanah dalam menentukan efektivitas infiltrasi.

Nilai efisiensi model kotak infiltrasi terhadap infiltrasi tiap pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.22. Keadaan tanah jenuh hampir seluruh ruang pori tanah telah terisi air, sehingga tambahan air sulit diresapkan. Akibatnya, debit infiltrasi rendah (0,0050 L/detik), dan sebagian besar air berpotensi menjadi limpasan permukaan. Sedangkan keadaan tanah tidak jenuh memiliki pori-pori yang masih kosong, memungkinkan air meresap lebih cepat ke dalam tanah. Debit infiltrasi lebih besar (0,0092 L/detik) dibandingkan tanah jenuh. Efisiensi tanah tidak jenuh (12,78%) hampir 1,8 kali lebih besar dibandingkan tanah jenuh (7,00%). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi awal tanah sangat memengaruhi kapasitas infiltrasi.

Tabel 4.22. Debit Tampungan Kotak Infiltrasi Sederhana

Kondisi	Debit Tampungan Kotak	
	(litar/detik)	%
Tanah jenuh	0,0050	7,00
Tanah tidak jenuh	0,0092	12,78

Sumber: Perhitungan

Model kotak infiltrasi dirancang untuk meningkatkan efisiensi resapan air melalui pengumpulan dan penyerapan limpasan permukaan. Hasil pengujian diperoleh kemampuan menampung air hujan sebesar 0,178 meter kubik untuk luas area 0,5 meter persegi dan kemampuan meresapkan air untuk tanah jenuh sebesar 0,0266 liter/detik, tidak jenuh 0,0581 liter/detik pada tanah lokasi pengujian, sehingga bak resapan ini mampu menampung curah hujan rata rata sebesar 0,109 liter/detik dengan luasan uji laboratorium sebesar 0,50 meter persegi. Selanjutnya akan dilakukan uji berikutnya tentang kotak infiltrasi permeable dengan optimalisasi model yang diperlukan untuk meningkatkan efisiensi terutama saat tanah dalam keadaan jenuh

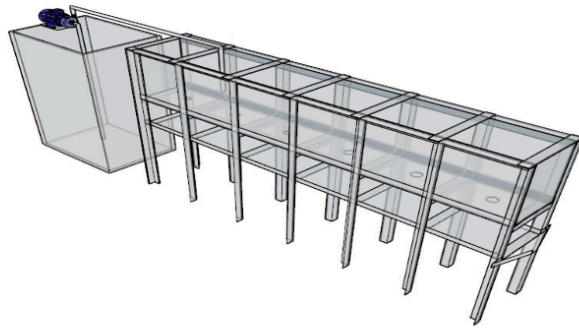
4.5. Uji Model ke-2 Kotak Infiltrasi di Median Jalan

4.5.1. Uji Model Tanpa Kotak Infiltrasi di Median

Pada tahap pertama uji flume, dilakukan pengujian terhadap aliran air melalui permukaan tanah di median jalan sebelum pemasangan media kontak infiltrasi. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengamati perilaku aliran air yang terjadi pada permukaan tanah alami, guna mengidentifikasi potensi penyusutan air yang mungkin terjadi serta untuk memperoleh data awal mengenai kondisi infiltrasi sebelum adanya perubahan struktural dengan pemasangan media tambahan.

Langkah-langkah pengujian dimulai dengan mempersiapkan area median jalan yang terdiri dari lapisan tanah asli. Aliran air yang dimasukkan ke dalam flume (saluran pengujian) kemudian diarahkan untuk mengalir melalui permukaan tanah yang telah dipersiapkan. Selama proses pengujian, beberapa parameter penting dicatat, kedalaman genangan, serta penyerapan atau infiltrasi air yang terjadi di dalam tanah.

Data yang diperoleh dari uji flume ini memberikan gambaran mengenai daya serap tanah asli dan potensi risiko erosi atau genangan air yang mungkin terjadi pada kondisi permukaan tanah yang belum dimodifikasi. Selanjutnya, hasil uji ini akan digunakan sebagai dasar perbandingan untuk mengevaluasi kinerja media kontak infiltrasi yang akan dipasang untuk meningkatkan kapasitas serapan air dan memperbaiki sistem drainase pada median jalan.



Gambar 4.20. Flume Median Jalan Tanpa Kotak Infiltrasi

Kondisi awal tanah median jalan, median jalan adalah tanah tanpa sistem infiltrasi buatan, terdiri dari tanah asli.



Gambar 4.21. Uji Model Tanpa Kotak Infiltrasi Pada Flume

Tanah ini memiliki kemampuan terbatas untuk menyerap air, terutama saat hujan lebat, kemiringan jalan saat air hujan yang jatuh di permukaan jalan akan bergerak mengikuti kemiringan permukaan menuju median atau saluran drainase.

Saat hujan terjadi, air mengalir ke median jalan, proses awal sebagian air meresap ke dalam tanah median, tetapi infiltrasi terbatas karena kondisi tanah yang padat atau sebagian jenuh. Ketika hujan terus berlanjut, tanah median mencapai

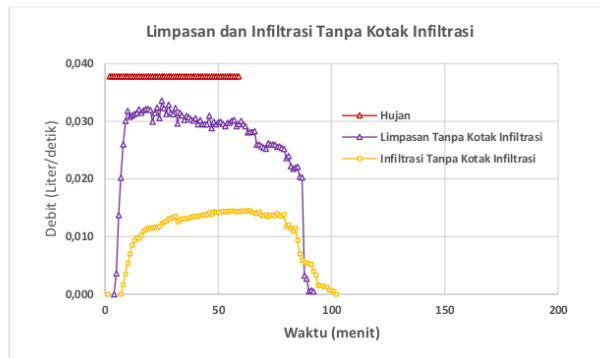
kapasitas infiltrasi maksimum, sehingga limpasan permukaan mulai terjadi. Limpasan akan bergerak ke saluran drainase di sekitar median atau menggenangi jalan jika saluran drainase tidak memadai.

Pergerakan aliran, air hujan yang jatuh sebagian besar akan meresap ke dalam tanah median. Kecepatan infiltrasi tinggi pada awalnya karena tanah masih memiliki ruang pori yang tersedia. Saat intensitas hujan meningkat, jika curah hujan lebih besar dari kapasitas infiltrasi tanah, limpasan permukaan mulai terbentuk. Limpasan akan mengalir menuju saluran drainase atau menyebabkan genangan lokal di area median. Setelah median jenuh, semua air tambahan akan langsung menjadi limpasan. Air limpasan dapat mengalir ke sisi jalan, meningkatkan resiko banjir lokal.



Gambar 4.22. Pengukuran Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak Infiltrasi

Debit Limpasan, saat awal hujan, debit limpasan rendah karena sebagian besar air masih terserap oleh tanah limpasan mulai terjadi ketika kapasitas infiltrasi tanah berkurang. Ketika saat median jenuh, debit limpasan meningkat secara signifikan, terutama jika intensitas hujan tetap tinggi. Beberapa faktor yang mempengaruhi adanya debit limpasan di median jalan jenis tanah, kondisi tanah jenuh atau tidak, intensitas dan durasi hujan.

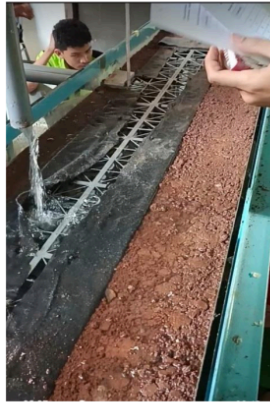


Gambar 4.23. Limpasan Tanpa Kotak Infiltrasi

4.5.2. Uji Model Dengan Kotak Infiltrasi di Median Jalan

Tahapan aliran kondisi awal kotak infiltrasi, Kotak infiltrasi dipasang di bawah median jalan, berfungsi untuk menampung air hujan sementara dan meningkatkan laju infiltrasi ke tanah. Struktur kotak infiltrasi, terdiri dari rongga dengan material berlubang atau kosong untuk memfasilitasi peresapan air ke dalam tanah di sekitarnya.

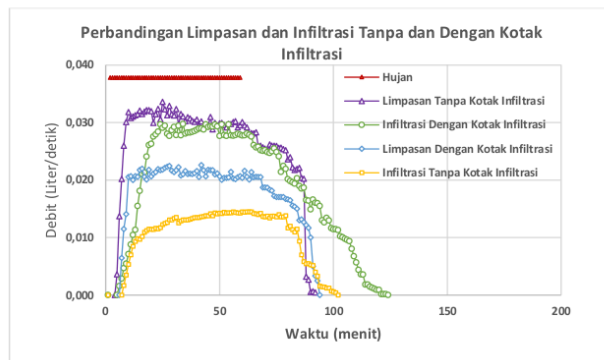
Pengaliran air hujan dari permukaan jalan dialirkan ke median jalan dan masuk ke kotak infiltrasi melalui saluran drainase atau lubang masuk. Proses penyimpanan, kotak infiltrasi menampung air hujan untuk sementara waktu, memberi waktu bagi air untuk meresap ke tanah. Tahap Peresapan, air di dalam kotak perlahan meresap ke tanah melalui dinding dan dasar kotak infiltrasi, limpasan permukaan berkurang drastis karena sebagian besar air ditampung dan diresapkan.



Gambar 4.24. Pemasangan Kotak infiltrasi dan Pengujian pada Flume Median

Pergerakan air, awal hujan mengalir dari permukaan jalan ke median melalui saluran masuk ke kotak infiltrasi, pada tahap awal, kotak infiltrasi masih kosong sehingga dapat menampung air tanpa limpasan, saat hujan berlanjut, air dalam kotak mulai meresap ke tanah di sekitarnya, pergerakan air ini dipengaruhi oleh porositas tanah dan kapasitas kotak infiltrasi, jika intensitas hujan melebihi kapasitas kotak infiltrasi, sebagian air akan melimpah keluar sebagai limpasan. Setelah kotak terisi penuh, limpasan hanya terjadi jika kapasitas kotak dan infiltrasi tanah tidak cukup untuk menangani debit masuk, pergerakan air di dalam kotak terus diarahkan ke tanah sekitarnya hingga kotak kosong.

Debit Limpasan, saat awal hujan debit limpasan berkurang karena kotak infiltrasi mampu menampung air yang masuk. Saat kapasitas kotak tercapai, limpasan mulai terbentuk jika debit masuk melebihi kapasitas kotak dan laju infiltrasi. Namun, limpasan tetap lebih kecil dibanding kondisi tanpa kotak infiltrasi. Setelah hujan berhenti, limpasan menurun dengan cepat karena kotak infiltrasi mengurangi genangan dan mengarahkan air untuk meresap ke tanah.



Gambar 4.25. Perbandingan Limpasan dan Infiltrasi Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi

Debit Infiltrasi saat awal hujan, Debit infiltrasi tinggi karena kotak infiltrasi memperluas area resapan tanah. Saat kotak terisi, debit infiltrasi tetap stabil tetapi terbatas oleh laju peresapan tanah di sekitar kotak. Setelah Hujan Berhenti, debit infiltrasi berlanjut hingga kotak kosong, membantu menurunkan risiko banjir lokal.

4.5.3. Perbandingan Tanpa dan dengan Kotak infiltrasi

Berikut menggambarkan perbandingan debit limpasan, infiltrasi, dan tampungan sebelum dan setelah pemasangan kotak infiltrasi dan sumur resapan.

Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak infiltrasi

- Limpasan : 0,02669 L/detik
- Infiltrasi : 0,01098 L/detik

Debit Limpasan dan Infiltrasi Dengan Kotak Infiltrasi

- Limpasan : 0,01856 L/detik
- Infiltrasi : 0,01919 L/detik

Dari hasil uji laboratorium, analisis dapat menunjukkan bahwa dengan adanya pemasangan sumur resapan dan kotak infiltrasi, volume limpasan berkurang secara signifikan, sementara kapasitas infiltrasi dan tampungan meningkat.

Perbedaan utama:

Tanpa Kotak Infiltrasi:

- Hampir seluruh air yang masuk ke flume drainase dan flume kotak akan mengalir sebagai limpasan tanpa ada resapan yang signifikan.
- Debit limpasan tinggi dan air langsung dialirkan ke sistem drainase atau saluran

Dengan Kotak Infiltrasi :

- Sebagian besar air yang masuk dapat diserap melalui kotak infiltrasi serta resapan di flume kotak.
- Debit limpasan menurun, dan sebagian air ditampung dalam kotak infiltrasi serta meresap ke dalam tanah.

4.5.4. Analisa Reduksi Debit Limpasan

Dari perhitungan, dilakukan analisis sebagai berikut:

1. Konsep Reduksi Limpasan

Reduksi limpasan mengacu pada penurunan volume air yang mengalir di permukaan akibat adanya intervensi tertentu, dalam hal ini Kotak Infiltrasi. Kotak Infiltrasi berfungsi untuk meningkatkan peresapan air ke dalam tanah sehingga mengurangi air yang langsung menjadi limpasan.

2. Interpretasi Perhitungan

- Debit limpasan tanpa Kotak Infiltrasi = 0,02669 liter/detik
- Debit limpasan dengan Kotak Infiltrasi = 0,01856 liter/detik

Reduksi debit limpasan dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{Q_{\text{Tanpa Kotak}} - Q_{\text{Dengan Kotak}}}{Q_{\text{Tanpa Kotak}}} \right) * 100\%$$

$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{0,02669 - 0,01856}{0,02669} \right) * 100\%$$

$$= \left(\frac{0,00813}{0,02669} \right) * 100\% = 30,47 \%$$

Kotak Infiltrasi mengurangi debit limpasan sebesar 30,47 %

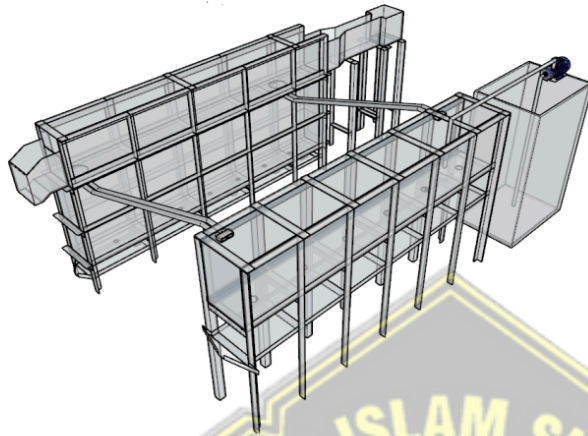
- Hasil ini menunjukkan bahwa Kotak Infiltrasi mampu mengurangi debit limpasan sebesar 30,47%, yang berarti hampir sepertiga dari air yang seharusnya menjadi limpasan kini terserap ke dalam tanah.

Efektivitas kotak infiltrasi, dengan adanya kotak limpasan berkurang sehingga yang dapat membantu dalam pengelolaan air hujan, mengurangi risiko genangan, serta meningkatkan resapan air ke dalam tanah. berkurangnya limpasan berarti potensi banjir juga dapat ditekan, dan ketersediaan air tanah bisa meningkat karena lebih banyak air yang meresap. Secara keseluruhan, analisis ini menunjukkan bahwa kotak infiltrasi berperan penting dalam mengurangi debit limpasan dan meningkatkan efisiensi pengelolaan air permukaan.

4.6. Uji Model ke-3 Eksisting Aliran di Median Jalan dan Saluran Tepi

Pada tahap awal pengujian, dilakukan uji flume untuk mengevaluasi kondisi eksisting aliran air di median jalan dan saluran tepi, dengan menggunakan dua kondisi tanah yang berbeda, yaitu tanah jenuh dan tanah tidak jenuh. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengamati perilaku aliran air pada kedua jenis tanah tersebut dan mendapatkan data terkait dengan kapasitas infiltrasi serta potensi masalah drainase pada kondisi eksisting, sebelum dilakukan pemasangan media kotak infiltrasi.

Mengidentifikasi dan memahami pola aliran air, debit limpasan, dan infiltrasi pada median jalan dan saluran tepi dalam kondisi eksisting. Uji dilakukan dengan mempertimbangkan dua status tanah utama, yaitu tanah jenuh dan tanah tidak jenuh, untuk mengevaluasi perilaku aliran air saat hujan.



Gambar 4.26. Flume Median Jalan dan Flume Saluran Tepi Tanpa Kotak Infiltrasi

Kondisi yang diuji, Median jalan adalah bagian tengah jalan dengan material tanah yang memungkinkan infiltrasi, berfungsi untuk menyerap sebagian air hujan sebelum mencapai saluran tepi. Saluran tepi, merupakan saluran di sisi jalan yang dirancang untuk mengalirkan air limpasan ke sistem drainase utama, diuji untuk mengetahui kemampuan menyerap limpasan dan mengalirkan air secara efisien. Status Tanah, adalah tanah tidak jenuh merupakan tanah yang memiliki ruang pori kosong, mampu menyerap air hujan melalui infiltrasi., sedangkan tanah jenuh merupakan tanah yang ruang porinya sebagian besar telah terisi air, sehingga tidak mampu menyerap lebih banyak air.



Gambar 4.27. Kondisi Awal Tanah Tidak Jenuh

Berikut adalah gambaran kondisi masing-masing flume serta perbandingan debit infiltrasi, debit limpasan, dan debit secara keseluruhan pada kondisi tanah jenuh dan tidak jenuh.

4.6.1. Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Jenuh

Flume Drainase Dengan Kondisi Tanah Jenuh (saturated soil)

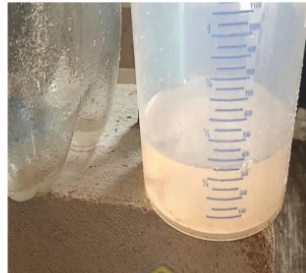
Kondisi tanah pada saluran tepi, tanah jenuh, Ruang pori tanah mulai terisi dengan air, sehingga kapasitas untuk infiltrasi berkurang. Sehingga air hujan yang jatuh menjadi limpasan permukaan. Risiko genangan dan banjir lebih tinggi karena aliran air tidak terserap ke tanah.

Ketika air hujan turun, Limpasan dari median dan hujan langsung mengalir ke saluran tanpa ada infiltrasi. Selama hujan berlangsung, Limpasan di saluran meningkat signifikan, menyebabkan aliran air terfokus menuju sistem drainase

lebih jauh. Setelah hujan berhenti, Tidak ada infiltrasi, sehingga aliran limpasan terus mengalir ke saluran drainase utama.



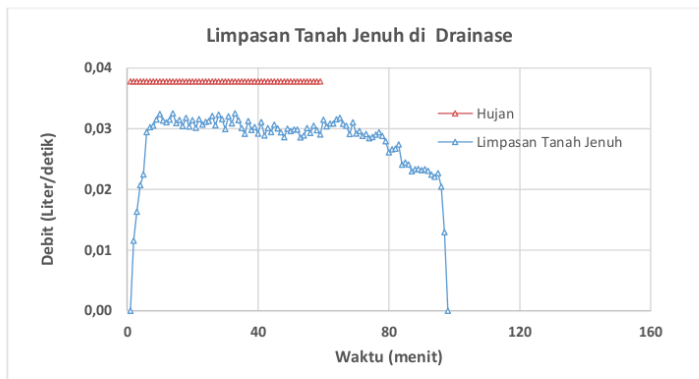
Gambar 4.28. Pengukuran Limpasan Pada Flume Drainase



Gambar 4.29. Pengukuran Infiltrasi Pada Flume Drainase

Pergerakan air dari saluran tepi, saat hujan air limpasan dari median dan air hujan lokal mulai mengisi saluran, tanah jenuh, infiltrasi kecil, selama hujan air mengalir ke saluran drainase utama, limpasan meningkat drastis jika tanah jenuh.

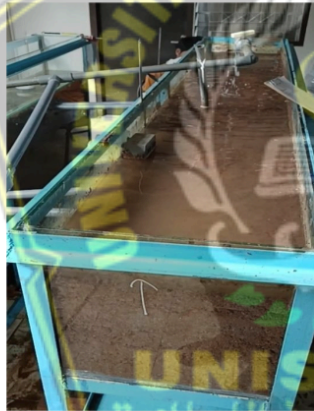
Pada kondisi tanah jenuh, ruang pori terbatas, sehingga berkurang ruang untuk air tambahan yang masuk ke dalam tanah. Sehingga terjadi di permukaan (limpasan) menjadi dominan. Flume Drainase menunjukkan aliran permukaan yang lebih cepat karena air hujan semakin kecil meresap lebih dalam. Drainase akan mengalirkan air ke saluran dengan kecepatan yang lebih tinggi. Debit Infiltrasi pada kondisi jenuh, debit infiltrasi sangat rendah karena tanah tidak dapat menyerap lebih banyak air.



Gambar 4.30. Debit Limpasan Tanah Jenuh Pada Flume Drainase

Flume Median dengan kondisi tanah jenuh (saturated soil)

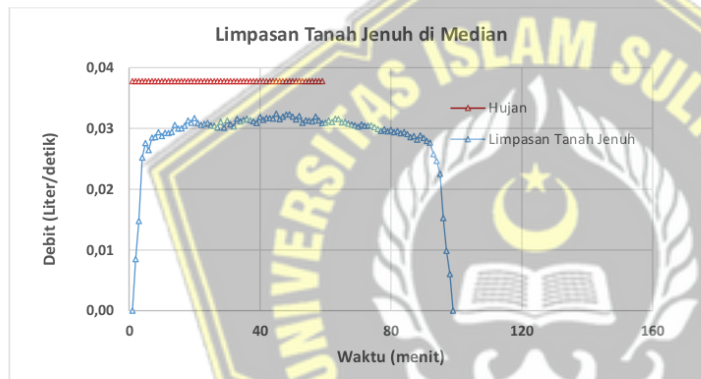
Kondisi tanah jenuh pada median jalan, Ruang pori tanah mulai terbatas terisi dengan air, sehingga kapasitas untuk infiltrasi semakin kecil. Air hujan yang jatuh akan menjadi limpasan permukaan. Risiko genangan dan banjir lebih tinggi karena aliran air meresap ke ke tanah semakin kecil.



Gambar 4.31. Pengukuran Limpasan Pada Flume Median Untuk Tanah Jenuh

Ketika hujan baru turun, sebagian air hujan menjadi limpasan karena tanah semakin berkurang menyerap air lebih banyak. Selama hujan berlangsung, Limpasan terus meningkat karena pergerakan infiltrasi semakin berkurang. Setelah hujan berhenti, infiltrasi yang terjadi sangat kecil, sehingga sebagian besar air yang tersisa menjadi limpasan.

Pada kondisi jenuh, tanah dalam flume median mempunyai kemampuan menyerap air semakin kecil, dan sebagian air hujan akan mengalir di atas permukaan atau mengalir melalui struktur drainase. Flume median berfungsi untuk menampung air, di dalam kotak infiltrasi yang dirancang dengan kisi-kisi. Dengan tanah jenuh, air akan langsung mengalir ke dalam saluran tanpa banyak resapan. Debit infiltrasi sangat rendah karena tanah sudah jenuh dan tidak bisa menampung air lebih banyak. Debit limpasan akan lebih tinggi karena kemampuan meresap ke dalam tanah semakin berkurang dan cenderung mengalir lebih cepat menuju kotak infiltrasi.



Gambar 4.32. Debit Limpasan Tanah Jenuh Pada Flume Median

4.6.2. Limpasan dan Infiltrasi di Tanah Tidak Jenuh Flume Drainase Dengan Kondisi Tidak Jenuh (Unsaturated soil)

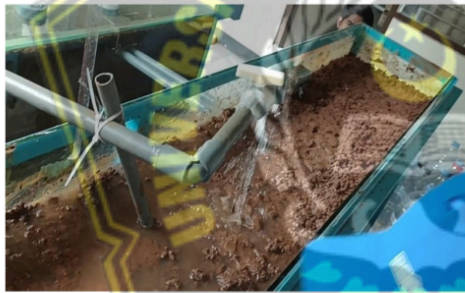
Pada kondisi tanah tidak jenuh, pori-pori tanah masih dapat menyerap sebagian air hujan yang turun aliran air ke dalam tanah terjadi secara perlahan.

Kapasitas infiltrasi naik pada awal hujan, tetapi berkurang seiring waktu saat tanah mendekati kejenuhan. Limpasan berkurang karena air meresap ke dalam tanah.



Gambar 4.33. Pengukuran Tinggi Limpasan dan Infiltrasi Pada Flume Drainase Untuk Tanah Tidak Jenuh

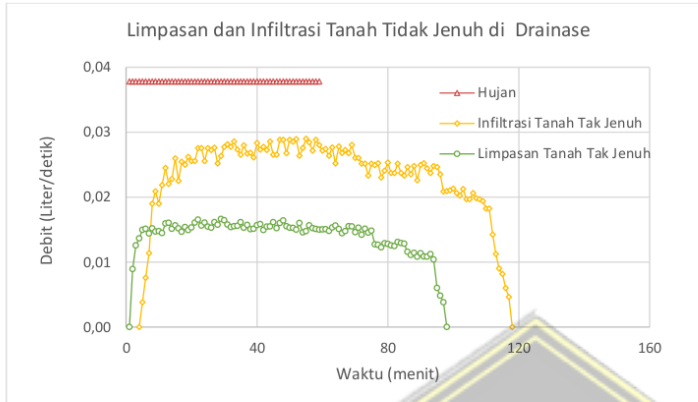
Ketika Hujan Baru Turun, Sebagian air dari hujan dan limpasan median meresap ke tanah saluran tepi. Selama Hujan Berlangsung, Sebagian air meresap ke tanah di saluran tepi. Jika aliran air dari median lebih besar dari kapasitas infiltrasi, limpasan di saluran meningkat. Setelah Hujan Berhenti, Limpasan dari median berkurang karena sebagian besar air diserap oleh tanah. Genangan di saluran cepat surut jika infiltrasi masih terjadi.



Gambar 4.34. Pengukuran Limpasan Pada Flume Median Untuk Tanah Tidak Jenuh

Flume Drainase akan menunjukkan tingkat aliran permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi tanah jenuh, karena sebagian air hujan diserap

oleh tanah, memperlambat aliran permukaan. Debit Infiltrasi pada kondisi ini lebih tinggi karena tanah dapat menyerap air lebih banyak. Debit limpasan akan lebih rendah dibandingkan dengan kondisi tanah jenuh karena sebagian air terperangkap di dalam tanah.



Gambar 4.35. Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanah Tidak Jenuh Flume Drainase

Flume Median Dengan Kondisi Tidak Jenuh (Unsaturated soil)

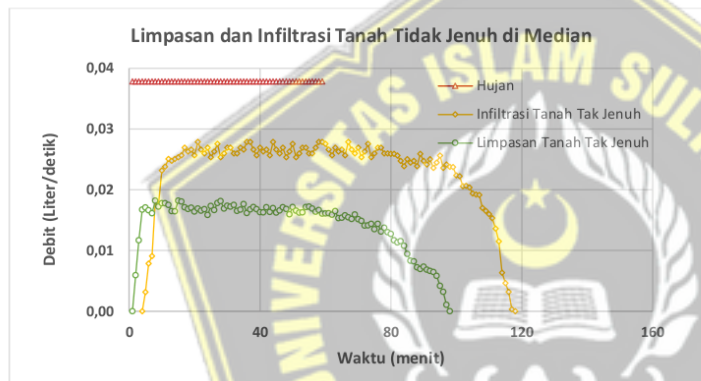
Pada kondisi tanah tidak jenuh, tanah masih bisa menyerap sebagian besar air hujan yang jatuh, dan sistem drainase kotak infiltrasi bisa menampung air sementara untuk diserap lebih lanjut oleh tanah.



Gambar 4.36. Debit Limpasan Tanah Tidak Jenuh Pada Flume Median

Flume Median akan menunjukkan kemampuan tampung dan resapan yang lebih baik, karena tanah bisa menyerap lebih banyak air sebelum terjadi limpasan. Debit infiltrasi akan lebih tinggi karena tanah belum jenuh dan dapat menyerap air hujan yang jatuh ke permukaan. Debit limpasan lebih rendah karena sebagian besar air dapat diserap oleh tanah atau ditampung oleh sistem drainase yang ada dalam flume kotak.

34
Ketika hujan baru turun, Air hujan yang jatuh meresap dengan cepat ke dalam tanah median jalan. Limpasan menjadi kecil, karena infiltrasi mendominasi. Selama hujan berlangsung, Kapasitas infiltrasi menurun secara bertahap karena tanah mulai mendekati kejenuhan. Limpasan mulai terbentuk seiring intensitas hujan meningkat. Setelah hujan berhenti, Sisa air di permukaan meresap ke tanah median untuk mengisi pori-pori tanah. Limpasan berkurang seiring tanah menyerap air yang tersisa.



Gambar 4.37. Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanah Tidak Jenuh Flume Median

Hasil pengamatan dan Analisis, Pada tanah jenuh, aliran air cenderung lebih lambat karena tanah menyerap air berkurang, sehingga sebagian besar air mengalir di permukaan atau tergenang. Ini menunjukkan bahwa kapasitas infiltrasi tanah sangat terbatas pada kondisi jenuh, yang berpotensi

menyebabkan genangan atau masalah drainase di sepanjang median jalan dan saluran tepi. Sebaliknya, pada tanah tidak jenuh, aliran air cenderung lebih cepat karena tanah masih memiliki ruang untuk menyerap air. Infiltrasi terjadi dengan lebih efisien, namun tetap bergantung pada kedalaman tanah dan tingkat kelembaban awalnya. Pada kondisi ini, tidak ditemukan genangan yang signifikan.

Hasil uji flume memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana aliran air berperilaku pada kondisi eksisting tanah jenuh dan tidak jenuh di median jalan dan saluran tepi. Secara umum, kondisi tanah jenuh menunjukkan kapasitas serapan air yang rendah dan berisiko menimbulkan masalah drainase, sementara tanah tidak jenuh menunjukkan kemampuan infiltrasi yang lebih baik. Data ini akan digunakan sebagai acuan untuk merencanakan pemasangan media kontak infiltrasi yang diharapkan dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap air dan memperbaiki sistem drainase di kedua lokasi tersebut.

4.6.3. Perbandingan Tanah Jenuh dan Tak Jenuh Tanpa Kotak Infiltrasi

Berikut menggambarkan perbandingan debit limpasan, infiltrasi, untuk tanah jenuh dan tanah tidak jenuh

Tabel 4.23. Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanah Jenuh

Lokasi	Limpasan Liter/detik	Infiltrasi Liter/detik
Median	0,0289	0,0086
Drainase	0,0282	0,0093

Sumber: Perhitungan

Tabel 4.24. Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanah Tidak Jenuh

Lokasi	Limpasan Liter/detik	Infiltrasi Liter/detik
Median	0,0144	0,0233
Drainase	0,0141	0,0235

Sumber: Perhitungan

Dari hasil uji laboratorium, analisis dapat menunjukkan bahwa tanah jenuh dan tanah tidak jenuh, volume limpasan berkurang secara signifikan, sementara kapasitas infiltrasi meningkat.

Tabel. 4.25. Perbandingan Debit Infiltrasi, Debit Limpasan Pada Saat Kondisi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh

Outflow	Tanah Jenuh	Tanah Tidak Jenuh
Debit Infiltrasi		
Flume Drainase	Infiltrasi rendah, Pori mulai penuh air tidak bisa menampung lebih banyak	Debit infiltrasi akan lebih tinggi, karena tanah masih dapat menyerap sebagian air hujan yang jatuh
Flume Kotak	infiltrasi rendah, tanah hampir tidak dapat menyerap air lebih banyak lagi	Debit infiltrasi lebih tinggi tanah belum jenuh dan masih mampu menyerap air hujan.
Debit Limpasan		
Flume Drainase	Debit limpasan sangat tinggi, air hujan yang jatuh sedikit yang diserap oleh tanah, sehingga sebagian besar air akan mengalir melalui saluran drainase.	Debit limpasan lebih rendah dibandingkan dengan kondisi tanah jenuh, karena tanah menyerap sebagian besar air, mengurangi volume air yang mengalir ke saluran drainase.
Flume Kotak	Debit limpasan juga tinggi karena tanah yang jenuh sedikit menampung air dan air hujan cenderung mengalir langsung ke saluran kotak.	Debit limpasan lebih rendah, karena sebagian besar air hujan akan meresap ke dalam tanah atau ditampung oleh desain kotak infiltrasi, mengurangi volume air yang mengalir melalui sistem drainase.

Sumber : Hasil Analisis

4.6.4. Analisis Pengaruh Kondisi Tanah Terhadap Limpasan

Reduksi debit limpasan adalah proses penurunan jumlah air yang mengalir di permukaan akibat peningkatan kapasitas infiltrasi tanah. Analisis ini berfokus pada perbandingan antara debit limpasan pada tanah jenuh dan tanah tidak jenuh di

dua lokasi berbeda, yaitu Drainase dan Median. Dalam pengelolaan air, bagaimana kondisi tanah mempengaruhi limpasan sangat penting untuk mengembangkan strategi mitigasi banjir, meningkatkan resapan air, dan mencegah erosi tanah. Persentase reduksi menunjukkan seberapa besar air yang sebelumnya menjadi limpasan kini dapat terserap ke dalam tanah setelah kondisi tanah berubah menjadi lebih permeabel.

Lokasi Drainase :

$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{Q_{\text{jenuh}} - Q_{\text{tidak jenuh}}}{Q_{\text{jenuh}}} \right) * 100\%$$

$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{0,0282 - 0,0141}{0,0282} \right) * 100\%$$

$$= \left(\frac{0,0141}{0,0282} \right) * 100\% = 50,073 \%$$

- Tanah jenuh memiliki limpasan lebih besar karena tidak dapat menyerap air lebih banyak.
- Ketika tanah menjadi tidak jenuh, infiltrasi meningkat, menyebabkan debit limpasan berkurang hingga **43,354%**.
- Ini menunjukkan bahwa tanah di area drainase memiliki kapasitas infiltrasi yang cukup tinggi ketika dalam kondisi tidak jenuh.

Lokasi Median :

$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{Q_{\text{jenuh}} - Q_{\text{tidak jenuh}}}{Q_{\text{jenuh}}} \right) * 100\%$$

$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{0,0289 - 0,0144}{0,0289} \right) * 100\%$$

$$= \left(\frac{0,0145}{0,0289} \right) * 100\% = 50,048 \%$$

- Reduksi limpasan di lokasi median sebesar 50,048%, sedikit lebih kecil dibandingkan lokasi drainase.
- Disebabkan oleh faktor seperti jenis tanah, kepadatan, vegetasi, atau kondisi permukaan yang berbeda.
- Tanah median masih mengalami reduksi limpasan, tetapi tidak sebesar di lokasi drainase.

Perbedaan dan Faktor yang Mempengaruhi

1. Jenis Tanah:

- Tanah di area drainase kemungkinan memiliki pori-pori yang lebih besar, sehingga lebih efektif menyerap air saat tidak jenuh.
- Tanah di area median mungkin lebih padat atau mengandung lebih banyak partikel halus, yang memperlambat infiltrasi.

2. Vegetasi dan Akar Tanaman:

- Area median sering kali memiliki tanaman atau rerumputan yang dapat membantu infiltrasi air.
- Drainase mungkin memiliki permukaan yang lebih terbuka atau beraspal, yang mempengaruhi proses resapan.

3. Struktur Permukaan:

- Jika area median lebih datar dan drainase lebih curam, air cenderung mengalir lebih cepat di drainase, menyebabkan perbedaan tingkat reduksi limpasan.
- Drainase sering didesain untuk menyalurkan air dengan cepat, tetapi ketika tanah tidak jenuh, infiltrasi masih bisa terjadi.

4. Kondisi Awal Tanah:

- Jika tanah sudah dalam kondisi sangat jenuh sebelum hujan, maka perbedaannya akan lebih kecil.
- Namun, jika tanah hanya sedikit jenuh sebelum hujan, perbedaannya bisa lebih besar.

Impilkasi dan Manfaat Pengurangan Limpasan

Reduksi limpasan yang cukup besar menunjukkan bahwa tanah memiliki potensi untuk mengurangi genangan air dan risiko banjir jika dikelola dengan baik. Beberapa implikasi positif dari temuan ini:

1. Mitigasi Banjir:

- Dengan meningkatkan infiltrasi, air yang terserap ke dalam tanah bertambah, sehingga mengurangi volume air yang mengalir di permukaan dan masuk ke saluran drainase.
- Sangat penting dalam perencanaan kota yang sering mengalami banjir akibat limpasan air hujan.

2. Konservasi Air Tanah:

- Air yang meresap ke dalam tanah akan menambah cadangan air tanah, yang penting untuk ketersediaan air bersih.
- Membantu dalam mengurangi ketergantungan pada sumber air permukaan.

3. Desain Infrastruktur Berbasis Alam (Nature-Based Solutions):

- Data ini dapat digunakan dalam perencanaan tata kota untuk menggunakan lebih banyak zona infiltrasi, seperti biopori atau ruang terbuka hijau.
- Penggunaan bahan permeabel untuk trotoar dan jalan juga bisa mengurangi limpasan dan meningkatkan infiltrasi.

Hasil Analisis kondisi tanah jenuh dan tanah tidak jenuh

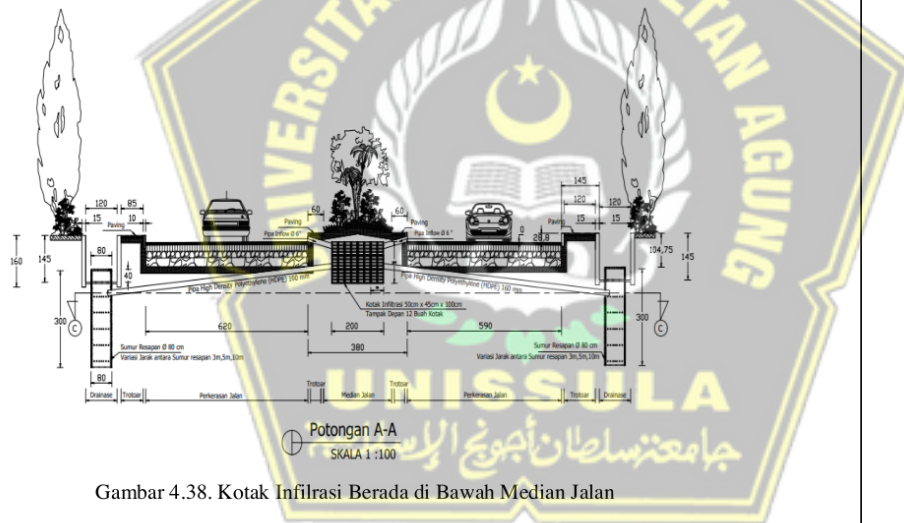
- Kondisi tanah sangat mempengaruhi limpasan dan infiltrasi air.
- Tanah jenuh menghasilkan lebih banyak limpasan karena kapasitas tanah menahan air berkurang.
- Tanah median memiliki perbedaan infiltrasi yang lebih besar dibandingkan drainase, mungkin karena struktur median lebih berpori atau memiliki material yang lebih menyerap air.

- Jika terjadi hujan intensitas tinggi, tanah akan cepat jenuh, sehingga perencanaan sistem drainase dan resapan menjadi penting untuk mencegah genangan dan banjir.

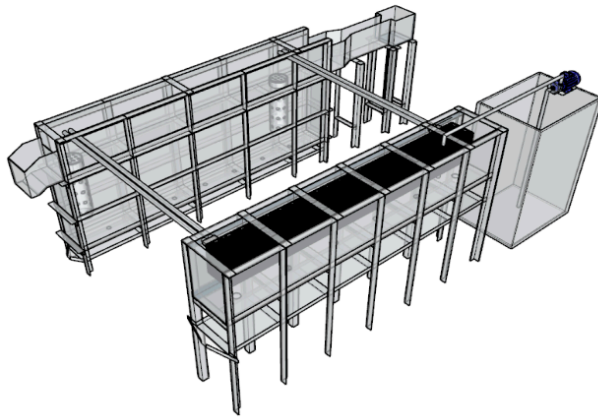
4.7. Uji Model ke-4 Kombinasi Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga variasi skema aliran dalam flume, yakni aliran dari flume drainase, aliran dari flume median, serta aliran dari gabungan flume drainase dan median, di dalam flume kotak terdapat suatu media berupa kotak infiltrasi yang terbuat dari bahan plastik yang terdapat kisi kisi di setiap sisinya.

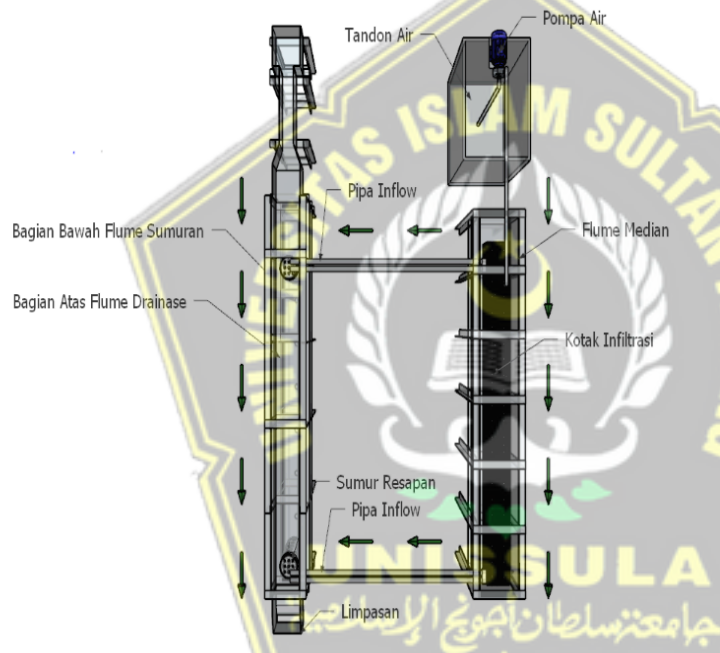
Variasi aliran bertujuan untuk memahami perilaku aliran air untuk hujan ekstrem, debit limpasan, debit infiltrasi, serta kapasitas tampungan dalam skenario drainase perkotaan. Lokasi flume drainase yang digunakan merupakan replika dari saluran tepi jalan raya dengan sumur resapan, sementara flume kotak adalah replika dari median jalan dengan desain kotak yang memiliki kisi-kisi untuk menampung dan meresapkan air. (Gambar 4.38 lebih jelas di halaman 40 pada sub bab rencana desain).



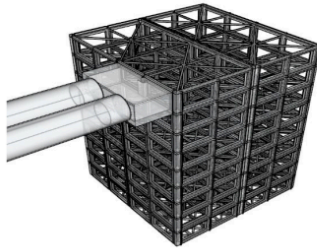
Gambar 4.38. Kotak Infiltrasi Berada di Bawah Median Jalan



Gambar 4.39. Model Flume Median, Flume Sumuran dan Flume Drainase



Gambar 4.40. Model Flume Median, Flume Sumuran dan Flume Drainase



Gambar 4.41. Bentuk Kotak Infiltrasi yang Berada di Lapisan Permukaan Median Jalan

4.7.1. Dasar Penggunaan Ketiga Variasi Aliran dan Perbedaannya

1. Flume Drainase (Replika Saluran Tepi Jalan Raya dengan Sumur Resapan)

Skema aliran ini mensimulasikan saluran drainase tepi jalan raya yang mengalirkan air hujan ke sistem drainase dan dilengkapi dengan sumur resapan untuk menangani limpasan permukaan dan infiltrasi.

Dasar Menggunakan Flume Drainase

- **Simulasi Aliran Tepi Jalan Raya:** Flume ini mewakili aliran permukaan yang terjadi di tepi jalan raya, tempat yang umum untuk terjadinya limpasan air hujan karena adanya permukaan impervious (seperti aspal atau beton). Dalam skema ini, air hujan yang jatuh di jalan raya mengalir menuju saluran drainase.
- **Sumur Resapan:** Dilengkapi dengan sumur resapan, skema ini menguji seberapa efektif sistem resapan dalam mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan infiltrasi air hujan ke dalam tanah, yang bisa mengurangi beban pada sistem drainase.
- **Menilai Debit Limpasan dan Infiltrasi:** Dengan sistem drainase terbuka dan adanya sumur resapan, skema ini memungkinkan pengujian tentang bagaimana air mengalir di permukaan dan berapa banyak air yang dapat diserap ke dalam tanah, berkontribusi pada pemahaman tentang kapasitas infiltrasi dan pengurangan limpasan.

2. Flume Kotak (Replika Median Jalan dengan Desain Kotak Infiltrasi)

Flume ini berfungsi untuk mensimulasikan desain drainase di median jalan yang dilengkapi dengan kotak infiltrasi yang memiliki kisi-kisi untuk menampung dan meresapkan air.

Dasar Menggunakan Flume Kotak

- **Simulasi Sistem Drainase di Median Jalan:** Flume kotak menggambarkan sistem drainase yang ada di median jalan, yang dilengkapi dengan elemen-elemen seperti kisi-kisi atau saluran drainase terbuka yang bisa menampung air hujan.
- **Kotak Infiltrasi:** Desain kotak infiltrasi ini memberikan kapasitas tampungan yang dapat menyimpan air hujan sebelum akhirnya meresap ke dalam tanah atau mengalir ke saluran pembuangan. Skema ini menguji kapasitas tampung air dalam struktur kotak serta seberapa efektif desain kisi-kisi dalam mengalirkan air ke tanah (infiltrasi).
- **Evaluasi Sistem Resapan dan Tampungan:** Sistem tampungan dan resapan yang ada dalam flume kotak memungkinkan tentang bagaimana air hujan bisa diserap kembali ke dalam tanah melalui desain kotak infiltrasi, serta seberapa besar volume air yang bisa ditampung dalam kotak infiltrasi ini.

3. Gabungan Flume Drainase dan Flume Kotak

Skema gabungan ini mensimulasikan skenario di mana aliran permukaan dari flume drainase (tepi jalan raya) mengalir ke dalam saluran drainase tertutup atau kotak drainase yang ada di median jalan.

Dasar Menggunakan Gabungan Flume Drainase dan Flume Kotak

- Menggambarkan Sistem Drainase Perkotaan yang Komprehensif, Dalam kenyataannya, air hujan yang mengalir di jalan raya akan masuk ke dalam sistem drainase kota yang lebih besar, yang mungkin terdiri dari gabungan saluran drainase terbuka dan tertutup. Skema gabungan ini mensimulasikan interaksi antara kedua jenis sistem drainase ini.

- Mengintegrasikan Debit Limpasan dan Tampungan, Skema gabungan memungkinkan untuk menganalisis bagaimana aliran air yang berasal dari flume drainase (dengan sumur resapan) dapat dialirkan ke saluran drainase tertutup (flume kotak) yang memiliki kapasitas tampung dan resapan. Ini memberi gambaran lebih realistis tentang bagaimana sistem drainase perkotaan bekerja dalam mengelola air hujan.
- Mengoptimalkan Pengelolaan Air: Gabungan ini dapat digunakan untuk menguji bagaimana saluran drainase terbuka yang mengalirkan air hujan di permukaan dapat berkontribusi terhadap pengelolaan air di saluran drainase tertutup, dengan memperhatikan kapasitas tampungan, infiltrasi, dan pengurangan limpasan yang terjadi pada kedua jenis saluran.

4.7.2. Perbedaan Ketiga Variasi Aliran

1. Flume Drainase
 - Fokus pada aliran permukaan yang mengalir ke sistem drainase terbuka dengan adanya sumur resapan.
 - Mengukur debit limpasan dan infiltrasi melalui sumur resapan, yang berguna untuk memahami bagaimana hujan ekstrem mempengaruhi saluran drainase tepi jalan dan kemampuan tanah untuk menyerap air.
2. Flume Kotak
 - Fokus pada tampungan dan resapan dalam sistem drainase tertutup dengan desain kotak yang memiliki kisi-kisi untuk meresapkan air.
 - Menilai kapasitas tampungan dan infiltrasi dalam saluran tertutup, menggambarkan sistem drainase yang lebih terstruktur di median jalan.
3. Gabungan Flume Drainase dan Flume Kotak
 - Menggabungkan kedua sistem, yaitu aliran permukaan yang mengalir ke flume drainase yang kemudian dialirkan ke flume kotak.
 - Menggambarkan interaksi antara saluran drainase terbuka dan tertutup dalam mengelola limpasan air hujan di lingkungan perkotaan, memungkinkan untuk mengevaluasi bagaimana kedua jenis sistem

dapat bekerja secara bersama-sama dalam mengelola volume air yang besar.

Ketiga variasi ini digunakan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengelolaan air hujan dan banjir perkotaan. Flume drainase dengan sumur resapan menggambarkan aliran permukaan dan infiltrasi di jalan raya, flume kotak menguji desain tampungan dan resapan dalam saluran drainase tertutup di median jalan, sementara gabungan keduanya memungkinkan pemodelan sistem drainase perkotaan yang lebih realistis dan integratif. Dengan demikian, penelitian ini dapat membantu merancang sistem drainase perkotaan yang lebih efektif, yang dapat mengurangi risiko banjir dan meningkatkan infiltrasi air hujan kembali ke tanah.

4.7.3. Variasi 2 model Simulasi Dengan Arah Inflow Yang Berbeda

1. Pengujian debit dari aliran median jalan

- a. Pengujian Sebelum adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan
- b. Pengujian Setelah adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan

2. Pengujian debit aliran dengan kombinasi drainase dan median

- a. Pengujian Sebelum adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan
- b. Pengujian Setelah adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan

4.7.4. Simulasi Aliran Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Simulasi aliran sebelum adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan menggambarkan kondisi alami atau eksisting dari sistem pengelolaan air hujan di suatu kawasan. Kondisi Hidrologi, Air hujan yang turun langsung mengalir di permukaan tanah (surface runoff) tanpa adanya penghambatan signifikan. Sebagian air terserap ke dalam tanah (infiltrasi alami), bergantung pada kondisi jenis tanah, tingkat permeabilitas, dan tutupan lahan. Daerah dengan tanah yang sudah terkompaksi atau tertutup beton/aspal (impermeable surface) menghasilkan limpasan yang lebih tinggi. Aliran Permukaan (Runoff), Volume aliran permukaan cenderung besar, terutama pada kawasan dengan minim vegetasi dan banyak permukaan kedap air. Potensi genangan dan banjir meningkat, terutama pada area

dengan sistem drainase yang kurang memadai. Pola aliran cenderung mengikuti kemiringan topografi, mengarah ke saluran pembuangan, sungai, atau badan air terdekat.

Kendala Tanpa Sistem Pengelolaan Air, Tanpa kotak infiltrasi dan sumur resapan, sebagian besar air hujan tidak dimanfaatkan untuk mengisi ulang air tanah (recharge groundwater). Tingginya volume air yang langsung dialirkan ke saluran pembuangan bisa menyebabkan kelebihan beban pada sistem drainase.

Pada pengujian ini, dilakukan evaluasi terhadap kinerja infiltrasi air di median jalan melalui uji kotak infiltrasi, yang dilakukan sebelum dan sesudah pemasangan media kontak infiltrasi dan sumur resapan. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati perubahan kapasitas serapan air dan efektivitas sistem drainase yang ada, serta untuk mengevaluasi apakah pemasangan media kontak infiltrasi dan sumur resapan dapat memperbaiki masalah genangan atau drainase di median jalan.

Pada tahap pertama, dilakukan uji kotak infiltrasi pada median jalan yang belum dipasang dengan media kontak infiltrasi maupun sumur resapan. Air yang dialirkan dari flume drainase akan mengalir melalui saluran drainase di median jalan dan mengisi kotak infiltrasi yang telah disiapkan. Pengukuran dilakukan untuk melihat volume air yang terinfiltrasi ke dalam tanah setelah waktu tertentu, serta waktu yang diperlukan untuk air sepenuhnya mengalir atau meresap. Pengamatan juga dilakukan terhadap genangan yang terbentuk dan kapasitas serapan air yang terjadi pada kondisi ini.

a. Arah Aliran Dari Median

Pengujian Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan, Ketika hujan mulai turun, air hujan yang jatuh di permukaan jalan mengalir sebagai limpasan karena jalan terbuat dari material tidak berpori. Air diarahkan ke median karena permukaan jalan dibuat miring. Aliran air cenderung cepat jika median tidak memiliki vegetasi atau media hambatan lainnya. Sehingga genangan di median jalan dapat meluap kembali ke

permukaan jalan, dan dapat mengganggu lalu lintas, menyebabkan kecelakaan dan memperburuk kerusakan jalan.

Air hujan atau limpasan permukaan (runoff) akan mengalir mengikuti kondisi tanah jenuh atau tidak jenuh dan mempengaruhi resapan air pada media tanah. Limpasan berlebihan jika tanah dengan kemampuan menyerap kecil, limpasan permukaan menjadi tinggi. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi hidrologi dan aliran air hujan sebelum diterapkannya kotak infiltrasi dan sumur resapan. Fokus pengujian adalah memahami pola aliran, volume limpasan, dan dampaknya terhadap sistem drainase. Dalam hal ini, inflow air hujan dimulai dari median jalan yang berfungsi sebagai area penerima utama curahan air hujan.

Debit inflow dilakukan simulasi sebanyak tiga kali untuk menentukan besaran debit yang akan digunakan dalam uji flume, debit yang didapat pada tabel 4.26. volume yang didapat bervariasi sehingga mendapatkan nilai rata-rata sebesar 0,0378 liter/detik.

Tabel 4.26. Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi

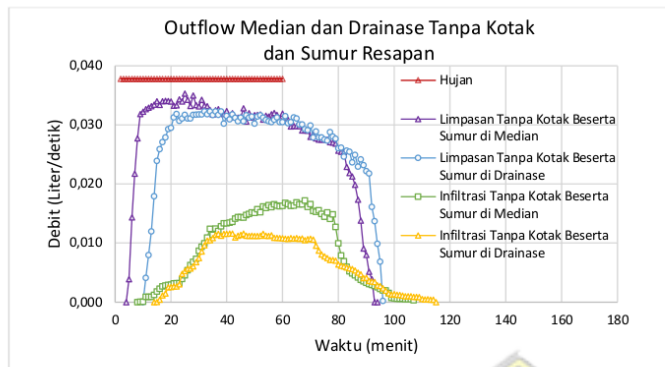
Debit Inflow			
Percobaan	1	2	3
Volume Air (L), V	0,78	0,89	1,00
Waktu (detik), t	20,65	21,65	29,07
Debit Ukur (L/detik), $Q=V/t$	0,0378	0,0411	0,0344
Debit Rata-rata (L/detik)	0,0378		

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan Gambar 4.42. berikut adalah analisis perbedaan antara limpasan di median dan limpasan di drainase:

- Perbedaan Pola Limpasan di Median dengan Limpasan di Drainase
 - Limpasan di median cenderung lebih tinggi dibandingkan limpasan di drainase.
 - Pada awal hujan, kedua limpasan meningkat dengan cepat, tetapi limpasan di median mencapai puncaknya lebih tinggi dan tetap tinggi untuk durasi yang lebih lama dibanding limpasan di drainase.

- Seiring waktu, limpasan di median dan drainase mengalami penurunan, tetapi limpasan di median turun lebih lambat.



Gambar 4.42. Outflow Median dan Drainase Tanpa Kotak dan Sumur Resapan, Arah Aliran dari Median

- Penyebab Perbedaan Limpasan di Median dan Drainase
 - Karakteristik Tanah dan Permukaan
 - Median memiliki lebih banyak vegetasi dan tanah yang lebih permeabel, sehingga sebagian air bisa terserap. Namun, saat tanah mulai jenuh, limpasan meningkat.
 - Drainase lebih cenderung berstruktur keras, sehingga lebih sedikit air yang terserap dan lebih banyak yang langsung mengalir sebagai limpasan.
 - Kapasitas Infiltrasi
 - Infiltrasi di median lebih tinggi dibandingkan infiltrasi di drainase.
 - Ini menunjukkan bahwa tanah di median masih mampu menyerap sebagian air hujan, sedangkan di drainase, air lebih cepat menjadi limpasan karena kapasitas infiltrasi lebih rendah.

- Respons terhadap Hujan
 - Limpasan di median lebih besar karena memiliki area resapan lebih luas, sehingga limpasan terjadi secara bertahap.
 - Di drainase, limpasan meningkat lebih cepat tetapi juga lebih cepat turun setelah hujan berhenti, kemungkinan karena air langsung mengalir ke sistem pembuangan atau saluran.
- Hasil Analisis
 - Limpasan di median lebih besar dibanding drainase, karena median memiliki tanah yang lebih permeabel yang awalnya menyerap air tetapi kemudian mengalami kejenuhan, menyebabkan peningkatan limpasan.
 - Limpasan di drainase lebih rendah tetapi lebih cepat mengalir, kemungkinan karena struktur permukaan yang tidak terlalu mendukung infiltrasi tetapi langsung mengalirkan air.
 - Infiltrasi lebih tinggi di median dibanding drainase, menunjukkan bahwa kondisi tanah di median lebih baik dalam menyerap air.

Hasil pengujian memberikan informasi penting untuk, Desain Infrastruktur Baru, merancang dimensi dan kapasitas kotak infiltrasi serta sumur resapan yang sesuai dengan volume limpasan. Mitigasi Genangan, Mengurangi dampak genangan di area sekitar median jalan. Peningkatan Efisiensi Drainase, Mengurangi beban drainase melalui pengelolaan limpasan yang lebih baik.

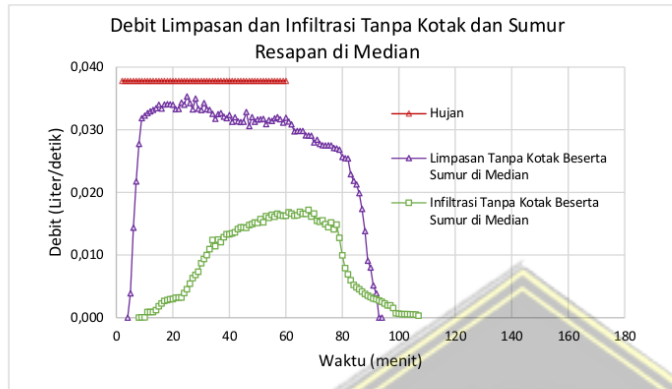
Tabel 4.27. Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi

Variasi	Hujan (Inflow)	Debit Limpasan		Debit Infiltrasi	
	L/s	L/s	%	L/s	%
Flume Median	0,0378	0,02705	71,64	0,0076	20,07
Flume Drainase	0,0378	0,02567	67,99	0,0073	19,29

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.27. dapat dilihat bahwa pada kondisi sebelum adanya kotak infiltrasi seta sumur resapan, Besar debit limpasan pada flume kotak

0,02705L/detik, besar nilai infiltrasi pada flume kotak 0,0076L/detik atau 20,07%, besar nilai debit infiltrasi untuk flume drainase 0,0073L/detik atau 19,27% dari debit hujan 0,0378 L/detik, Pada kondisi tanah ini nilai debit infiltrasi flume kotak lebih besar dari pada infiltrasi flume sumuran, hal ini dipengaruhi oleh kadar air tanah flume sumuran dan perjalanan air ke flume sumuran.

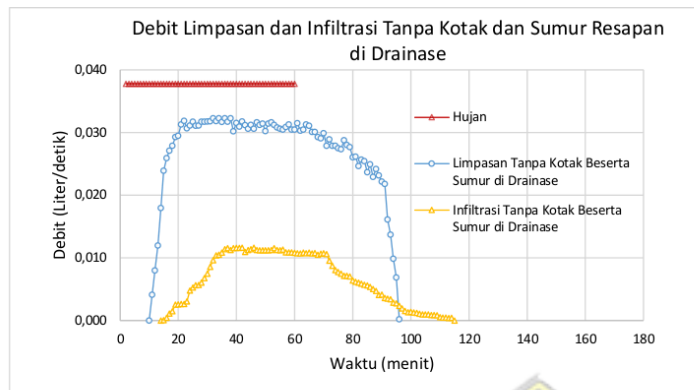


Gambar 4.43. Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur, Arah Aliran dari Median

Pada pengujian awal, sebelum pemasangan kotak infiltrasi dan sumur resapan, pergerakan air dimulai dari flume kotak. Air hujan yang jatuh pada flume kotak (replika median jalan) mengalir melalui flume ini. Pada tahap ini, kotak yang berfungsi sebagai tampungan dan resapan belum terpasang, sehingga tidak ada tempat untuk menampung bisa meresapkan air. Sebagian besar air akan mengalir sebagai limpasan. Debit limpasan ini tergantung pada intensitas hujan dan kapasitas flume.

Infiltrasi terjadi pada flume kotak pada pengujian ini. Pada awalnya air akan berada di permukaan tampungan kemudian air akan menggenang di atas permukaan jika kapasitas penyerapan tanah belum tercapai, setelah beberapa saat air yang terkumpul akan mulai meresap ke dalam tanah, pergerakan air yang mengalir melalui ruang-ruang pori tanah menuju lapisan yang lebih dalam. Beberapa saat setelah tanah mulai jenuh air akan masuk pada pipa inflow menuju flume drainase

dan mulai mengisi hingga masuk pada flume sumuran hingga terjadi proses infiltrasi



Gambar 4.44. Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur, Arah Aliran dari Median

b. Arah Aliran Dari Median dan Drainase

Pengujian Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

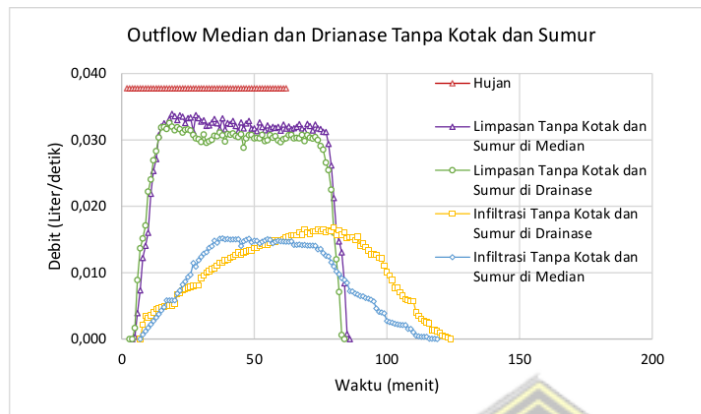
Pada pengujian dengan arah aliran dari median dan dari drainase yaitu untuk Untuk mengukur kemampuan median dan flume drainase dalam menampung dan mengalirkan air hujan deras. Debit inflow dilakukan simulasi sebanyak tiga kali untuk menentukan besaran debit yang akan digunakan dalam uji flume, debit yang didapat pada tabel 4.28. volume yang didapat bervariasi sehingga mendapatkan nilai rata rata sebesar 0,0378 liter/detik.

Tabel 4.28. Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi

Debit Inflow			
Percobaan	1	2	3
Volume Air (L), V	0,78	0,83	0,95
Waktu (detik), t	20,65	22	25
Debit Ukur (L/detik), $Q=V/t$	0,0378	0,0377	0,0380
Debit Rata - rata (L/detik)	0,0378		

Sumber : Hasil Perhitungan

Pengujian tanpa adanya kotak infiltrasi menghasilkan limpasan di flume kotak, infiltrasi di flume kotak dan besaran inflow. Terlihat pada gambar 4.45.



Gambar 4.45. Outflow Median dan Drainase Tanpa Kotak dan Sumur Resapan, Arah Aliran dari Median dan Drainase (Kombinasi)

Ketika air hujan jatuh pada flume kotak, air akan menggenang di dalam kotak tersebut, air yang jatuh akan tetap berada di permukaan flume kotak. Limpasan di Flume Kotak, Jika intensitas hujan sangat tinggi dan kapasitas kotak infiltrasi tidak memadai untuk menyerap seluruh air, maka sebagian besar air akan mengalir keluar dari kotak infiltrasi dan mengalir sebagai limpasan menuju flume drainase. Limpasan ini terjadi karena permukaan kotak infiltrasi tidak cukup permeabel untuk menyerap air dalam jumlah besar. Infiltrasi di Flume Kotak, Jika ada sedikit ruang bagi air untuk meresap, sebagian kecil air dapat masuk ke dalam tanah melalui permukaan flume kotak, meskipun kemampuannya terbatas karena tidak adanya sistem tampungan resapan.

Masuknya Air ke Flume Drainase, Air yang telah mengalir dari flume kotak menuju flume drainase akan mengalir lebih lanjut ke saluran drainase utama. Tanpa adanya sumur resapan, air yang menggenang di flume drainase tidak dapat diserap oleh tanah, dan akan tetap berada di dalam saluran. Limpasan di Flume Drainase,

Jika kapasitas drainase tidak mencukupi, maka air hujan akan mengalir keluar dari flume drainase sebagai limpasan permukaan.

Tabel 4.29. Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi

Variasi	Debit Hujan (Inflow)	Debit Limpasan		Debit Infiltrasi	
	L/s	L/s	%	L/s	%
Flume Kotak	0,0378	0,02870	75,92	0,00904	23,90
Flume Drainase	0,0378	0,02709	71,66	0,01045	27,64

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil Pengamatan dan Analisis, Kondisi Sebelum Pemasangan Media Kontak Infiltrasi dan Sumur Resapan: Pada kondisi ini, air yang dialirkan dari flume drainase cenderung menggenang lebih lama di permukaan median jalan dan saluran tepi. Waktu infiltrasi yang lebih lama menunjukkan rendahnya kapasitas tanah dalam menyerap air, yang dapat menyebabkan masalah drainase dan potensi banjir lokal.

Perbandingan Antara Arah Aliran dari Median dan Arah Aliran Kombinasi TANPA Kotak infiltrasi dan Sumur Resapan

Berikut menggambarkan perbandingan debit limpasan, infiltrasi, arah aliran dari median dan arah aliran gabungan median dan drainase tanpa kotak infiltrasi dan sumur resapan. Dari kedua tabel di bawah, dapat membandingkan debit limpasan dan infiltrasi pada dua kondisi aliran yang berbeda:

1. Arah aliran dari median jalan
2. Arah aliran dari median jalan dan saluran tepi

Tabel 4.30. Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak infiltrasi dan Sumur Resapan Dengan Arah Aliran dari Median Jalan

Lokasi	Limpasan Liter/detik	Infiltrasi Liter/detik
Median	0,02705	0,00758
Drainase	0,02567	0,00729

Sumber: Perhitungan

Tabel 4.31. Debit Limpasan dan Infiltrasi Tanpa Kotak infiltrasi dan Sumur Resapan Dengan Arah Aliran dari Median Jalan dan Saluran Tepi

Lokasi	Limpasan Liter/detik	Infiltrasi Liter/detik
Median	0,02870	0,00908
Drainase	0,02709	0,01045

Sumber: Perhitungan

Dari kedua tabel tersebut diatas, dapat melihat bagaimana perubahan debit limpasan dan infiltrasi ketika arah aliran hanya dari median jalan dibandingkan dengan ketika aliran berasal dari median jalan dan drainase. Berikut adalah analisisnya:

Perbandingan debit limpasan Arah Aliran Dari Median dan Gabungan (Median + Drainase), Tanpa Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Limpasan pada lokasi median dan lokasi drainase meningkat saat ada tambahan aliran dari saluran tepi :

Tabel 4.32. Perbandingan debit limpasan Aliran dari Median

Lokasi	Limpasan dari Median (L/detik)	Limpasan dari Median + Saluran Tepi (L/detik)	Selisih (L/detik)	Persentase Kenaikan Limpasan
Median	0,02705	0,02870	0,0016	6,1 % (naik 0,0016 L/detik)
Drainase	0,02567	0,02709	0,00142	5,51 % (naik 0,00142 L/detik)

Sumber: Perhitungan

- Limpasan pada drainase meningkat ketika ada aliran tambahan dari saluran tepi, sekitar 5,51 %.
- Limpasan pada median naik sedikit, karena sebagian air sudah mengalir ke saluran tepi sebelum mencapai drainase utama.

Perbandingan Debit Infiltrasi (Aliran dari median, Aliran Gabungan median dan drainase)

Debit infiltrasi juga mengalami perubahan karena perbedaan arah aliran.

- Infiltrasi di median dan drainase berkurang signifikan saat ada tambahan aliran dari saluran tepi.
- Penurunan infiltrasi di drainase (43,43 %) lebih besar dibanding median (19,25 %).
- Hal Ini menunjukkan bahwa air lebih banyak bergerak sebagai limpasan daripada terserap ke dalam tanah saat ada aliran dari dua sumber.

Tabel 4.33. Perbandingan Infiltrasi

Lokasi	Infiltrasi dari Median (L/detik)	Infiltrasi dari Median + Saluran Tepi (L/detik)	Selisih (L/detik)	Persentase Penurunan Infiltrasi
Median	0,00758	0,00904	0,00146	19,25 % (menurun 0,00146 L/detik)
Drainase	0,00729	0,01045	0,00316	43,43 % (menurun 0,00316 L/detik)

Sumber: Perhitungan

Tambahan aliran dari saluran tepi meningkatkan limpasan dan mengurangi infiltrasi. Drainase menerima beban limpasan yang lebih besar (6,1 %) ketika ada tambahan aliran dari saluran tepi. Infiltrasi berkurang drastis (19,25 % hingga 43,43 %) karena volume air yang lebih besar mempercepat kejenuhan tanah. Sistem resapan seperti sumur resapan atau kotak infiltrasi sangat penting untuk mengurangi limpasan dan meningkatkan peresapan.

Kontribusi Terhadap Penurunan Limpasan

- **Dampak Pada Median**
 - Limpasan di median hanya sedikit bertambah (6,1 %) setelah penambahan saluran tepi, menunjukkan bahwa sebagian besar air masih mengalir di median sebelum dialirkan ke saluran tepi.

- Infiltrasi di median menurun signifikan (19,25 %), yang berarti lebih sedikit air yang dapat meresap ke dalam tanah setelah adanya saluran tepi.
- Walaupun limpasan sedikit berkurang, penurunan infiltrasi di median menunjukkan bahwa lebih banyak air yang tetap menjadi limpasan dibandingkan yang terserap.

- **Dampak Pada Drainase**

- Limpasan di drainase sedikit meningkat sebesar 5,51 % setelah ditambahkan saluran tepi.
- Infiltrasi di drainase menurun lebih drastis (43,43 %) dibandingkan median, menunjukkan bahwa saluran tepi mengurangi kemampuan drainase untuk menyerap air.
- Dengan berkurangnya infiltrasi, lebih banyak air langsung mengalir sebagai limpasan, menyebabkan debit limpasan di drainase meningkat.

- **Penyebab Impilkasi**

- Penurunan infiltrasi pada median dan drainase disebabkan oleh pengalihan aliran air ke saluran tepi, yang mempercepat aliran permukaan dan mengurangi waktu air terserap ke dalam tanah.
- Karena infiltrasi berkurang, semakin banyak air yang berubah menjadi limpasan, meningkatkan risiko genangan atau banjir di daerah hilir.
- Penambahan saluran tepi tidak mengurangi limpasan secara efektif, bahkan menyebabkan peningkatan limpasan di drainase.

- **Solusi untuk optimal Penurunan Limpasan**

Agar sistem dapat lebih efektif dalam mengurangi limpasan dan meningkatkan infiltrasi, beberapa strategi dapat diterapkan:

- Meningkatkan Kapasitas Infiltrasi di Median dan Drainase, Menggunakan material permeabel di sekitar median dan saluran tepi untuk memperlambat aliran air dan meningkatkan infiltrasi.

Menanam vegetasi lebih banyak di median untuk membantu penyerapan air hujan.

- Mengoptimalkan Desain Saluran Tepi, Memanfaatkan saluran resapan atau biopori di sepanjang median dan drainase untuk meningkatkan infiltrasi. Mengurangi permukaan kedap air pada saluran tepi untuk memungkinkan sebagian air tetap terserap.
 - Menambah Infrastruktur Resapan, Sumur resapan atau rain garden dapat digunakan di sepanjang area median dan drainase untuk menangkap air sebelum menjadi limpasan berlebih.
- Hasil Analisis
 - Limpasan di median sedikit menurun, tetapi limpasan di drainase meningkat setelah adanya saluran tepi.
 - Infiltrasi di kedua lokasi menurun drastis (19,25 % pada median dan 43,43 % pada drainase), menyebabkan peningkatan limpasan.
 - Untuk mengurangi limpasan, perlu ditingkatkan kapasitas infiltrasi melalui desain saluran tepi yang lebih ramah resapan, penggunaan material permeabel, dan penambahan sumur resapan.

4.7.5. Simulasi Aliran Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Simulasi uji aliran setelah adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan bertujuan untuk memahami perubahan pola aliran permukaan, kapasitas infiltrasi, dan dampak terhadap mitigasi banjir atau genangan. Simulasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan keberadaan infrastruktur baru dan menilai dampaknya terhadap sistem hidrologi lokal.

a. Arah Aliran dari Median

Pengujian Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Pengujian aliran air setelah adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem yang dirancang untuk mengelola limpasan air hujan melalui infiltrasi dan penampungan sementara

Debit inflow dilakukan simulasi sebanyak tiga kali untuk menentukan besaran debit yang akan digunakan dalam uji flume, debit yang didapat pada tabel 4.34. volume yang didapat bervariasi sehingga mendapatkan nilai rata-rata sebesar 0,0378 liter/detik.

Tabel 4.34. Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi

Debit Inflow			
Percobaan	1	2	3
Volume Air (L), V	0,82	0,75	0,60
Waktu (detik), t	21,565	19,78	16
Debit Ukur (L/detik), $Q=V/t$	0,0380	0,0379	0,0375
Debit Rata-rata (L/detik)	0,0378		

Sumber : Hasil Perhitungan

Pengujian sebelum adanya kotak infiltrasi menghasilkan limpasan flume kotak, infiltrasi flume kotak, infiltrasi flume sumuran dan besaran inflow. Terlihat pada gambar 4.31.

Tabel 4.35. Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi

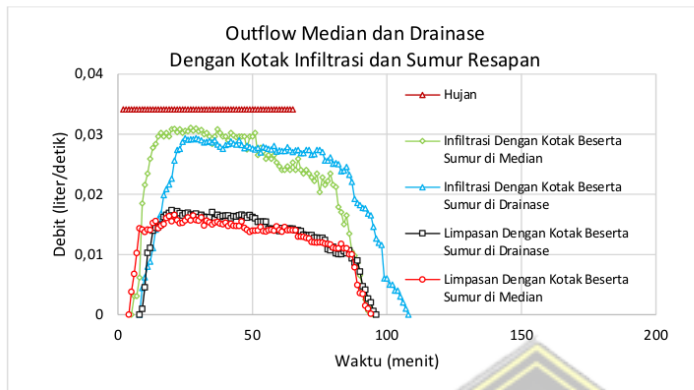
Variasi	Hujan (Inflow) L/s	Debit Limpasan		Debit Infiltrasi	
		L/s	%	L/s	%
Flume Median	0,0378	0,01280	33,86	0,0244	64,54
Flume Drainase	0,0378	0,01399	37,01	0,0231	61,20

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.35. dapat dilihat bahwa pada kondisi dengan adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan, Besar debit limpasan pada flume median 0,01280L/detik, besar nilai infiltrasi pada flume median 0,0244 L/detik atau 64,54%, besar nilai debit infiltrasi untuk flume drainase 0,0231L/detik atau 61,20% dari debit hujan 0,0378 L/detik, Pada kondisi tanah ini nilai debit infiltrasi flume kotak lebih besar dari pada infiltrasi flume sumuran, hal ini dipengaruhi oleh kadar air tanah flume sumuran dan perjalanan air ke flume sumuran.

Pada pengujian awal, sebelum pemasangan kotak infiltrasi dan sumur resapan, pergerakan air dimulai dari flume kotak. Air hujan yang jatuh pada flume

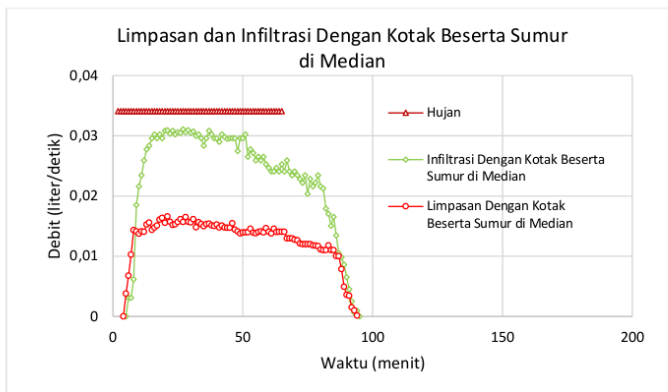
kotak (replika median jalan) mengalir melalui flume ini. Pada tahap ini, kotak yang pengujian setelah adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan menghasilkan limpasan flume kotak, infiltrasi flume kotak dan besaran inflow. Terlihat pada gambar 4.46.



Gambar 4.46. Outflow Median dan Drainase Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan, Arah Aliran dari Median

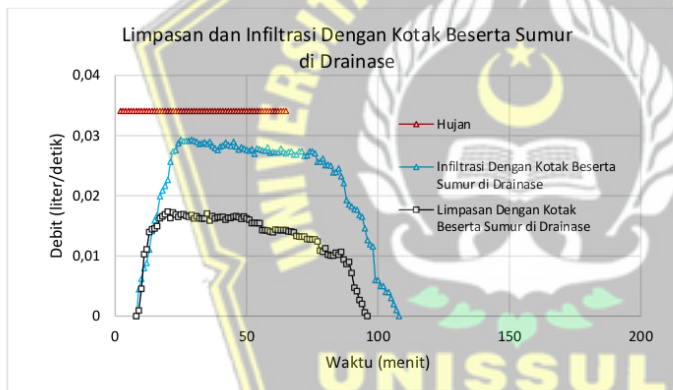
Air hujan pertama kali jatuh ke flume kotak, yang merupakan replika dari median jalan. Flume kotak ini dilengkapi dengan sistem kotak infiltrasi yang terdiri dari kisi-kisi yang memungkinkan infiltrasi air ke dalam tanah. Setelah air mengalir di flume kotak, sebagian air hujan yang tidak dapat diserap oleh kotak infiltrasi akan mengalir sebagai limpasan. Air yang menggenang di atas permukaan kotak infiltrasi mulai mengalir ke saluran drainase (flume drainase). Limpasan ini terjadi karena kapasitas tampungan resapan mungkin belum cukup untuk menampung seluruh volume air hujan yang jatuh pada flume kotak.

Air yang telah mengalir dari flume kotak menuju flume drainase, yang berfungsi sebagai saluran drainase. Flume drainase berfungsi untuk menampung limpasan dari flume kotak dan juga sebagai jalur untuk mengarahkan air ke sumur resapan yang terletak di bawah flume drainase mulai berfungsi untuk menyerap air yang mengalir. Air yang menggenang atau limpasan yang terjadi di flume drainase akan meresap ke dalam sumur resapan.



Gambar 4.47. Debit Infiltrasi dan Limpasan Flume Median

Pada kotak infiltrasi yang dilengkapi dengan kisi-kisi untuk memungkinkan infiltrasi, pergerakan air yang jatuh pada kotak infiltrasi. Pada awalnya air akan menggenang di dalam kotak infiltrasi, namun karena adanya kisi-kisi atau saluran permeabel, sebagian air akan mulai meresap melalui ruang-ruang kecil yang ada pada kisi-kisi. Air yang meresap ke dalam tanah ini akan turun ke lapisan bawah, tergantung pada jenis dan sifat tanah, serta kedalaman lapisan resapan.



Gambar 4.48. Debit Infiltrasi dan Limpasan Flume Drainase

Perbandingan Limpasan Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Pada Tabel 4.35a menunjukkan perbandingan debit limpasan air hujan antara kondisi tanpa dan dengan penggunaan kotak infiltrasi serta sumur resapan, yang diterapkan di dua lokasi berbeda, median jalan dan saluran drainase. Lokasi menunjukkan titik pengamatan atau lokasi uji (yaitu Median dan Drainase).

Limpasan TANPA Kotak dan Sumur, Debit limpasan permukaan yang terjadi tanpa intervensi teknologi resapan. Ini adalah kondisi eksisting alami atau sebelum adanya perbaikan sistem infiltrasi, pada Median 0,02705 L/detik dan pada Drainase: 0,02567 L/detik

Limpasan DENGAN Kotak dan Sumur, Debit limpasan setelah dipasang kotak infiltrasi dan sumur resapan, yang dirancang untuk menyerap air hujan ke dalam tanah dengan hasil pada Median 0,01280 L/detik sedangkan pada Drainase 0,01399 L/detik. Selisih antara limpasan Tanpa dan Dengan menggunakan kotak infiltrasi Menghitung pengurangan debit limpasan antara kedua kondisi. Pada Median $0,02705 - 0,01280 = 0,0143$ L/detik, sedangkan pada Drainase: $0,02567 - 0,01399 = 0,0117$ L/detik

Tabel 4.35a. Perbandingan debit limpasan Tanpa dan Dengan Menggunakan Kotak Infiltrasi beserta Sumur Resapan

Lokasi	Limpasan TANPA Kotak dan Sumur (L/detik)	Limpasan DENGAN Kotak dan Sumur (L/detik)	Selisih (L/detik)	Persentase Penurunan Limpasan
Median	0,02705	0,01280	0,0143	52,7 % (turun 0,0143 L/detik)
Drainase	0,02567	0,01399	0,0117	45,51 % (turun 0,0117 L/detik)

Sumber : Hasil Perhitungan

Persentase Penurunan Limpasan menunjukkan efisiensi penurunan limpasan pada Median 52,7 % dan pada Drainase 45,51 %, Penerapan kotak infiltrasi dan sumur resapan terbukti efektif menurunkan debit limpasan secara

signifikan, Di median jalan, limpasan berkurang sebesar 52,7%, menandakan sistem resapan menyerap lebih dari setengah volume limpasan. Di saluran drainase, terjadi pengurangan sebesar 45,51%, juga menunjukkan kinerja yang baik dalam pengurangan beban aliran permukaan. Sehingga hal ini memperkuat peran teknologi resapan dalam pengelolaan limpasan air hujan dan pengurangan risiko genangan.

Perbandingan Infiltrasi Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Pada Tabel 4.35b di bawah, memperlihatkan perbandingan debit infiltrasi air hujan antara kondisi tanpa dan dengan penerapan kotak infiltrasi serta sumur resapan, yang diamati pada dua lokasi yaitu Median dan Drainase. Fokus dari tabel ini adalah efektivitas sistem resapan dalam meningkatkan jumlah air yang meresap ke dalam tanah.

Pada lokasi median, debit infiltrasi tanpa menggunakan sistem resapan tercatat sebesar 0,0076 L/detik. Setelah diterapkan kotak infiltrasi dan sumur resapan, debit infiltrasi meningkat signifikan menjadi 0,0244 L/detik. Ini menunjukkan peningkatan sebesar 0,0168 L/detik, atau setara dengan kenaikan 68,94% dibanding kondisi awal. Peningkatan ini mencerminkan keberhasilan teknologi resapan dalam meningkatkan daya serap tanah terhadap limpasan air hujan di area median jalan.

Tabel 4.35b. Perbandingan debit Infiltrasi Aliran dari Median

Lokasi	Infiltrasi TANPA Kotak dan Sumur (L/detik)	Infiltrasi DENGAN Kotak dan Sumur (L/detik)	Selisih (L/detik)	Persentase Kenaikan Infiltrasi
Median	0,0076	0,0244	0,0168	68,94 % (naik 0,0168 L/detik)
Drainase	0,0073	0,0231	0,0158	68,51 % (naik 0,0158 L/detik)

Sumber : Hasil Perhitungan

Sementara itu, di lokasi drainase, debit infiltrasi juga mengalami peningkatan yang cukup besar. Infiltrasi awal tanpa sistem hanya sebesar 0,0073 L/detik, namun meningkat menjadi 0,0231 L/detik setelah sistem diterapkan.

Selisihnya sebesar 0,0158 L/detik, yang berarti terjadi kenaikan sebesar 68,51%. Hal ini mengindikasikan bahwa penerapan sistem kotak infiltrasi dan sumur resapan juga efektif dalam meningkatkan laju infiltrasi pada area drainase.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sistem resapan yang digunakan mampu meningkatkan infiltrasi lebih dari dua kali lipat di kedua lokasi, dan berpotensi besar dalam mengurangi limpasan permukaan serta mengoptimalkan pengisian air tanah.

b. Arah Aliran Dari Median dan Drainase

Pengujian Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Pengujian aliran air sesudah adanya kotak infiltrasi dan sumur resapan dengan debit inflow dari flume median dan flume drainase bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana sistem baru ini mengelola aliran air secara keseluruhan. Fokus pengujian ini adalah mengukur efektivitas sistem dalam mengurangi debit limpasan, meningkatkan infiltrasi, dan mengelola aliran air secara efisien.

Setelah pemasangan kotak infiltrasi dan sumur resapan, pengujian dilakukan untuk mengevaluasi perubahan arah aliran, volume air hujan yang tertahan, serta dampaknya terhadap pengelolaan limpasan. Penempatan kotak infiltrasi dan sumur resapan bertujuan untuk mengurangi limpasan permukaan, meningkatkan infiltrasi, dan meringankan beban sistem drainase eksisting.

Debit inflow dilakukan simulasi sebanyak tiga kali untuk menentukan besaran debit yang akan digunakan dalam uji flume, debit yang didapat pada tabel 4.36. volume yang didapat bervariasi sehingga mendapatkan nilai rata rata sebesar 0,0301 liter/detik.

Tabel 4.36. Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi

Debit Inflow			
Percobaan	1	2	3
Volume Air (L), V	0,87	0,82	0,76
Waktu (detik), t	20,565	21,78	20
Debit Ukur (L/detik), $Q=V/t$	0,0379	0,0376	0,0380
Debit Rata - rata (L/detik)	0,0378		

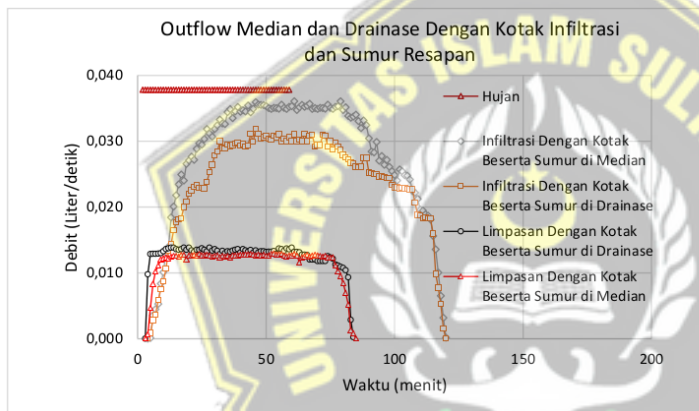
Sumber : Hasil Perhitungan

Pengujian **setelah** adanya kotak infiltrasi menghasilkan limpasan flume kotak, infiltrasi flume kotak dan besaran inflow. Terlihat pada gambar 4.49. Masuknya Air Hujan pada flume kotak, Air hujan yang jatuh ke permukaan flume kotak akan menggenang di atas permukaan. Ketika kapasitas tampungan atau resapan flume kotak terlampaui, air tidak bisa meresap dengan cepat ke dalam tanah. Akibatnya, air akan mengalir keluar dari kotak dan menuju flume drainase sebagai limpasan. Limpasan ini terjadi karena permukaan flume kotak tidak cukup permeabel untuk menyerap air dalam jumlah besar.

Tabel 4.37. Hasil Uji Debit Hujan, Limpasan dan Infiltrasi

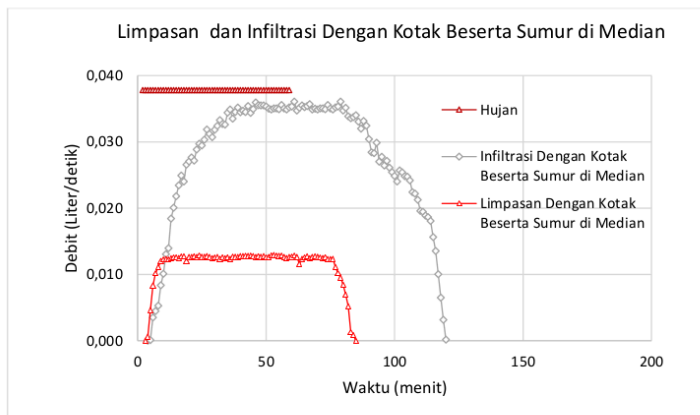
Variasi	Hujan (Inflow)	Debit Limpasan		Debit Infiltrasi	
	L/s	L/s	%	L/s	%
Limpasan Median	0,0378	0,01166	30,85	0,0259	68,47
Limpasan Drainase	0,0378	0,01314	34,76	0,0235	62,30

Sumber : Hasil Perhitungan



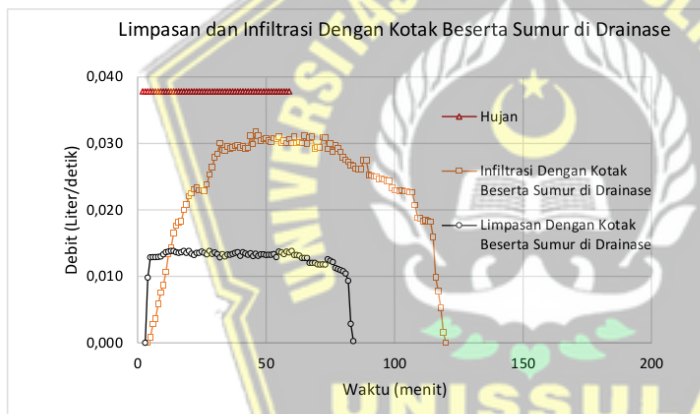
Gambar 4.49. Outflow Infiltrasi dan Limpasan Dengan Kotak dan Sumur,
Arah Aliran dari Keduanya

Desain khusus kisi-kisi atau struktur permeabel pada kotak infiltrasi untuk memudahkan air dapat meresap ke tanah.



Gambar 4.50. Debit Infiltrasi dan Limpasan Dengan Kotak dan Sumur, Arah Aliran dari Keduanya

Tinggi Tampungan dan Keterbatasan Kapasitas. Seiring dengan bertambahnya debit hujan, tinggi tampungan di dalam flume kotak akan meningkat. Setelah kapasitas tampungan tercapai, aliran air akan keluar sebagai limpasan menuju flume drainase.



Gambar 4.51. Debit Infiltrasi dan Limpasan Dengan Kotak dan Sumur, Arah Aliran dari Keduanya

4.7.6. Perbandingan Antara Arah Aliran dari Median dan Arah Aliran Kombinasi Dengan Adanya Kotak infiltrasi dan Sumur Resapan

Berikut menggambarkan perbandingan debit limpasan, infiltrasi, arah aliran dari median dan arah aliran gabungan median dan drainase tanpa kotak infiltrasi dan sumur resapan.

Dari kedua tabel di bawah, dapat membandingkan debit limpasan dan infiltrasi pada dua kondisi aliran yang berbeda:

1. Arah aliran dari median jalan
2. Arah aliran dari median jalan dan saluran tepi

Tabel 4.38. Debit Limpasan dan Infiltrasi Dengan Kotak dan Sumur Resapan Dengan Arah Aliran dari Median

Lokasi	Limpasan Liter/detik	Infiltrasi Liter/detik
Median	0,01280	0,0244
Drainase	0,01399	0,0231

Sumber: Perhitungan

Tabel 4.39. Debit Limpasan dan Infiltrasi Dengan Kotak dan Sumur Resapan Dengan Arah Aliran dari Median Jalan dan drainase

Lokasi	Limpasan Liter/detik	Infiltrasi Liter/detik
Median	0,01166	0,0259
Drainase	0,01314	0,0235

Sumber: Perhitungan

Dari kedua tabel tersebut diatas, membandingkan bagaimana kotak infiltrasi dan sumur resapan mempengaruhi debit limpasan dan infiltrasi dalam dua kondisi yang berbeda.

Analisis Perbandingan debit limpasan

Limpasan pada drainase meningkat saat ada tambahan aliran dari saluran tepi :

- Debit limpasan pada median jalan menurun sebesar 8,89 %, menunjukkan bahwa sistem infiltrasi cukup efektif dalam mengurangi limpasan air hujan.
- Debit limpasan pada drainase menurun sebesar 6,08 %, sedikit lebih kecil dibanding median jalan.

- Penurunan limpasan pada median lebih besar dibanding drainase, karena kapasitas infiltrasi lebih besar di median jalan menggunakan kotak infiltrasi
- Penurunan debit limpasan menunjukkan bahwa kotak infiltrasi dan sumur resapan efektif dalam mengurangi limpasan dengan menampung dan menyerap air hujan sebelum mengalir ke sistem drainase.

Tabel 4.40. Perbandingan debit limpasan

Lokasi	Limpasan dengan Kotak dan Sumur Resapan (median)		Limpasan dengan Kotak dan Sumur Resapan (kombinasi)		Selisih (L/detik)	Persentase Penurunan Limpasan (%)
	(L/detik)	%	(L/detik)	%		
Median	0,01280	33,86	0,01166	30,85	0,0011	8,89
Drainase	0,01399	37,01	0,01314	34,76	0,0009	6,08

Sumber: Perhitungan

Kontribusi terhadap Penurunan Limpasan

a. Pengaruh di Median

- Dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan di median saja, limpasan air adalah 0,01280 L/detik.
- Ketika kotak infiltrasi dan sumur resapan digunakan dalam kombinasi aliran (median + drainase), limpasan berkurang menjadi 0,01166 L/detik.
- Hal ini menunjukkan penurunan sebesar 8,89 %, yang berarti kombinasi sistem resapan lebih efektif dibandingkan hanya di median saja.
- Kontribusi utama pengurangan limpasan berasal dari peningkatan kapasitas infiltrasi di median, yang memperlambat aliran air sebelum masuk ke sistem drainase.

b. Pengaruh di Drainase

- Dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan di median saja, limpasan di drainase adalah 0,01399 L/detik.
- Ketika kotak infiltrasi dan sumur resapan diterapkan dalam kombinasi, limpasan turun menjadi 0,01314 L/detik.
- Ini menunjukkan penurunan sebesar 6,08 %, yang lebih kecil dibandingkan penurunan di median.

- Kontribusi utama pengurangan limpasan di drainase lebih kecil karena air sudah banyak tertahan dan terserap di median sebelum mencapai drainase.

Hasil Kontribusi terhadap Penurunan Limpasan

a. Efektivitas Sistem Infiltrasi Lebih Tinggi di Median

- Penurunan limpasan lebih signifikan di median (8,89 %) dibandingkan di drainase (6,08 %), yang berarti bahwa median lebih efektif dalam menyerap air dibandingkan drainase.
- Hal ini terjadi karena median memiliki area yang lebih luas dan lebih memungkinkan untuk infiltrasi dibandingkan drainase yang lebih terbatas.

b. Kombinasi Infiltrasi Median + Drainase Memberikan Hasil Lebih Baik

- Pengurangan limpasan total menjadi lebih signifikan ketika kotak infiltrasi dan sumur resapan diterapkan di kedua lokasi.
- Ini menunjukkan bahwa strategi kombinasi lebih efektif dibandingkan hanya mengandalkan satu lokasi resapan.

c. Kapasitas Drainase Perlu Ditingkatkan

- Meskipun infiltrasi di median sudah membantu mengurangi limpasan ke drainase, persentase penurunan di drainase cukup baik (6,08 %).
- Ini menunjukkan bahwa drainase masih menerima beban limpasan yang cukup besar, sehingga perlu ditingkatkan kapasitas resapannya.

Perbandingan Debit Infiltrasi (Aliran dari Median, Aliran Gabungan Median dan Drainase)

Debit infiltrasi juga mengalami perubahan karena perbedaan arah aliran.

- Debit infiltrasi naik di kedua lokasi.
- Pada median jalan, debit infiltrasi naik 6,09 %, sementara pada drainase naik 1,08 %.
- Kenaikan ini bisa disebabkan oleh, kapasitas tanah masih mampu dalam menyerap air setelah penggunaan media infiltrasi.

- Kenaikan debit infiltrasi menunjukkan bahwa tanah masih mampu dalam penyerapan air walaupun mengalami kejenuhan karena pengaliran gabungan, sehingga kemampuan tanah untuk menyerap mulai berkurang.

Tabel 4.41. Perbandingan Infiltrasi Dengan Perbedaan Pemberian Aliran

Lokasi	Infiltrasi Dengan Aliran Dari Median (L/detik)	Infiltrasi Dengan Aliran Gabungan dari Median dan Drainase (L/detik)	Persentase Kenaikan Infiltrasi
Median	0,0244	0,0259	6,09 % (naik)
Drainase	0,0231	0,0235	1,80 % (naik)

Sumber: Perhitungan

Kotak infiltrasi dan sumur resapan efektif mengurangi debit limpasan, terutama di median jalan. Debit infiltrasi meningkat perlahan, menunjukkan kemungkinan tanah sudah mulai jenuh atau ada perubahan dalam efektivitas sistem infiltrasi. Penurunan debit limpasan lebih besar dibanding penurunan debit infiltrasi, artinya meskipun infiltrasi berkurang, limpasan tetap dapat dikendalikan lebih baik dibanding sebelumnya.

Penggunaan kotak infiltrasi dan sumur resapan mengurangi debit limpasan secara signifikan (hingga 8,89 % pada median dan 6,08 % pada drainase). Debit infiltrasi mengalami kenaikan pada skenario gabungan (hingga 6,09 % pada median dan 1,808 % pada drainase), menunjukkan bahwa kapasitas infiltrasi tanah mulai terbatas pada kondisi kejenuhan. Kombinasi antara kotak infiltrasi dan sumur resapan cukup efektif dalam mengatur aliran permukaan, namun perlu memperhatikan kondisi kejenuhan tanah agar sistem tetap optimal.

4.7.7. Analisis Perbandingan Debit Limpasan Secara Keseluruhan

Berdasarkan Teble 4.40

Tabel 4.40 membandingkan debit limpasan di dua lokasi, median dan drainase, dengan penerapan kotak infiltrasi dan sumur resapan dalam dua skenario:

- a. Limpasan dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan dengan aliran dari median.

- b. Limpasan dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan dengan aliran kombinasi (median + drainase).

1. Perbandingan Data dalam tabel 4.40

Untuk mengetahui kontribusi penurunan limpasan secara keseluruhan, perlu membandingkan dengan data limpasan awal (tanpa kotak infiltrasi dan sumur resapan), yaitu dari Tabel 4.40 dan Tabel 4.41.

Tabel 4.42. Kontribusi Penurunan Limpasan Secara Keseluruhan

Lokasi	Limpasan Awal (L/detik)	Limpasan Dengan Kotak & Sumur Resapan (Median) (L/detik)	Limpasan Dengan Kotak & Sumur Resapan (Kombinasi) (L/detik)	Penurunan dari Awal ke Median (%)	Penurunan dari Awal ke Kombinasi (%)
Median	0,02705	0,01280	0,01166	52,68 %	56,89 %
Drainase	0,02567	0,01399	0,01314	45,50 %	48,81 %

Sumber: Perhitungan

2. Analisis Kontribusi Terhadap Penurunan Limpasan

a. Dampak dari Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan Aliran di Median

- Tanpa sistem infiltrasi, limpasan di median adalah 0,02705 L/detik (dari Tabel 4.30).
- Setelah penerapan kotak infiltrasi dan sumur resapan di median saja, limpasan turun menjadi 0,01280 L/detik.
- Penurunan limpasan mencapai 52,68 %.
- Setelah penerapan kotak infiltrasi dan sumur resapan dalam kombinasi (median + drainase), limpasan turun lebih lanjut menjadi 0,01166 L/detik, atau penurunan sebesar 56,89% dari kondisi awal.

b. Dampak Aliran kombinasi, Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

- Tanpa sistem infiltrasi, limpasan di drainase adalah 0,02567 L/detik (dari Tabel 4.30).
- Setelah penerapan kotak infiltrasi dan sumur resapan di median saja, limpasan turun menjadi 0,01399 L/detik.
- Penurunan limpasan mencapai 45,50 %.

- Setelah penerapan kotak infiltrasi dan sumur resapan dalam kombinasi (median + drainase), limpasan turun lebih lanjut menjadi 0,01314 L/detik, atau penurunan sebesar 48,81 % dari kondisi awal.

3. Hasil Analisis

- a. Sistem infiltrasi efektif mengurangi limpasan
 - Penurunan limpasan di median lebih tinggi dibandingkan di drainase, yang menunjukkan bahwa median memiliki kapasitas infiltrasi lebih baik.
 - Secara keseluruhan, limpasan berkurang 56,89 % di median dan 48,81 % di drainase setelah diterapkan kotak infiltrasi dan sumur resapan dalam kombinasi.
- b. Kombinasi sistem infiltrasi lebih efektif
 - Jika hanya diterapkan di median, limpasan median turun 48,81 % dan limpasan drainase turun 45,50 %.
 - Jika diterapkan di median + drainase, limpasan median turun 56,89 % dan limpasan drainase turun 52,68 %.
 - Artinya, kombinasi sistem infiltrasi meningkatkan efektivitas hingga 13-15 % lebih baik dibandingkan hanya di median saja.
- c. Drainase masih menerima beban limpasan yang cukup besar
 - Meskipun sudah ada pengurangan limpasan, drainase masih mengalami limpasan air setelah infiltrasi di median.
 - Ini menunjukkan bahwa kapasitas resapan di drainase perlu ditingkatkan lebih lanjut.
- d. Solusi tambahan untuk meningkatkan efektivitas sistem infiltrasi
 - Meningkatkan permeabilitas tanah di drainase untuk mempercepat infiltrasi air.
 - Menambahkan vegetasi atau tanaman berakar dalam di median untuk meningkatkan daya serap air.
 - Memperluas area infiltrasi di drainase agar bisa menangkap lebih banyak air sebelum masuk ke saluran utama.

5. Hasil Akhir

- Tanpa kotak infiltrasi dan sumur resapan, limpasan di median 0,02705 L/detik dan di drainase 0,02567 L/detik.
- Setelah penerapan sistem infiltrasi di median, limpasan berkurang 52,68 % di median dan 45,50 % di drainase.
- Setelah penerapan sistem infiltrasi secara kombinasi (median + drainase), limpasan berkurang hingga 56,89 % di median dan 48,81 % di drainase.
- Kombinasi sistem infiltrasi lebih efektif dibandingkan hanya di median saja.

Perlu peningkatan kapasitas infiltrasi di drainase agar pengurangan limpasan lebih optimal.



BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Analisis Debit Limpasan di Lokasi Badan Jalan

Perkembangan infrastruktur transportasi yang pesat, khususnya pembangunan jaringan jalan, seringkali berdampak signifikan terhadap pola hidrologi suatu kawasan. Salah satu permasalahan utama yang timbul adalah meningkatnya debit limpasan permukaan (surface runoff) akibat perubahan tata guna lahan dari area resapan alami menjadi permukaan kedap air seperti aspal dan beton. Limpasan yang tidak terkelola dengan baik dapat menyebabkan genangan, erosi, kerusakan badan jalan, dan bahkan banjir di wilayah hilir. Oleh karena itu, analisis debit limpasan pada lokasi badan jalan menjadi langkah krusial dalam perencanaan dan pengelolaan drainase jalan yang efektif.

Debit limpasan dihitung berdasarkan kombinasi faktor hidrologis dan fisik wilayah, seperti intensitas curah hujan, koefisien limpasan, luas daerah tangkapan, serta topografi lahan. Metode rasional merupakan pendekatan umum yang digunakan dalam estimasi debit limpasan di kawasan terbangun, termasuk badan jalan. Metode ini mengasumsikan bahwa puncak limpasan terjadi ketika seluruh area tangkapan telah jenuh dan berkontribusi terhadap aliran permukaan, yang dinyatakan dalam rumus $Q = C \times I \times A$, di mana Q adalah debit limpasan ($m^3/detik$), C adalah koefisien limpasan, I adalah intensitas hujan (mm/jam), dan A adalah luas daerah tangkapan (ha).

Lokasi badan jalan, nilai koefisien limpasan cenderung tinggi karena dominasi permukaan impermeabel, yang dapat berkisar antara 0.7 hingga 0.95 tergantung pada jenis material jalan dan kondisi kemiringan. Hal ini menyebabkan akumulasi air yang cepat dalam waktu singkat selama peristiwa hujan, sehingga perencanaan kapasitas saluran drainase tepi jalan harus mampu menampung debit puncak tersebut. Ketidaktepatan dalam analisis dapat menyebabkan kegagalan fungsi drainase dan mempercepat degradasi struktur jalan akibat beban air berlebih dan infiltrasi ke lapisan bawah perkerasan.

Dalam konteks perencanaan sistem drainase perkotaan, pemilihan periode ulang (*return period*) dan durasi hujan (*rainfall duration*) merupakan dua komponen krusial dalam analisis hidrologi.

7 Pemilihan Periode Ulang (Return Period, T)

Periode ulang adalah lamanya waktu rata-rata antara dua kejadian hujan ekstrem dengan intensitas atau debit tertentu yang sama atau melebihi nilai tersebut.

Tabel 5.1. Kriteria Umum Berdasarkan Fungsi Prasarana Drainase

Jenis Infrastruktur	Periode Ulang Umum (T)
Drainase kawasan permukiman	2 – 5 tahun
Saluran sekunder dan tersier	2 – 5 tahun
Drainase jalan lokal	2 – 5 tahun
Drainase jalan utama kota	5 – 10 tahun
Sistem pengendalian banjir utama (kolam retensi, sungai kota, dsb.)	10 – 25 tahun (bisa sampai 50 tahun untuk kawasan padat)

26 Kota Cirebon adalah kota pesisir yang datar dengan tingkat urbanisasi cukup tinggi, dan cenderung mengalami genangan pada musim hujan. Dengan luas penelitian 11,42 ha (0,114 km²) dan melihat peruntukan lahan (agak padat bangunan), perencanaan drainase skala kawasan sebaiknya menggunakan periode ulang antara 2, 5 hingga 10 tahun. Jika fokusnya adalah pada pengendalian banjir kota secara menyeluruh, maka periode ulang 10–25 tahun.

Pemilihan Durasi Hujan: 15 Menit dan 20 Menit

Pemilihan durasi hujan sangat berkaitan dengan waktu konsentrasi (T_c) DAS, yaitu waktu yang dibutuhkan air dari titik terjauh untuk mencapai outlet. Estimasi awal waktu konsentrasi untuk DAS kecil (< 50 ha), digunakan rumus empiris seperti Kirpich, jika panjang aliran utama $L = 400$ m, kemiringan $S = 0,5\%$ $= 0,005$, maka :

$$T_c = 0,0195 * L^{0,77} * S^{-0,385}$$

$$T_c = 15,12 \text{ menit} = 0,252 \text{ jam}$$

$$T_c = \text{diambil 15 dan 20 menit}$$

Sehingga durasi hujan efektif yang digunakan dalam analisis intensitas durasi frekuensi (IDF) diambil mendekati atau sedikit lebih besar dari waktu konsentrasi. Maka durasi 15 menit dan 20 menit merupakan pilihan yang sangat tepat secara teknis karena sesuai dengan estimasi waktu konsentrasi

Tabel 5.2. Intensitas Hujan dengan periode ulang tertentu

T (Menit)	T (Jam)	Periode Ulang (Tahun)							
		2	5	10	15	20	25	50	100
		116,078 (mm)	147,238 (mm)	168,139 (mm)	176,648 (mm)	185,588 (mm)	194,987 (mm)	215,397 (mm)	236,110 (mm)
5	0,083	210,927	267,550	305,528	320,991	337,236	354,314	391,403	429,041
10	0,167	132,876	168,546	192,471	202,211	212,445	223,204	246,568	270,279
15	0,250	108,291	137,361	156,860	164,798	173,139	181,907	200,948	220,272
20	0,333	83,707	106,177	121,249	127,385	133,832	140,610	155,328	170,265
40	0,667	52,732	66,887	76,382	80,248	84,309	88,579	97,851	107,260
60	1	40,242	51,045	58,290	61,240	64,340	67,598	74,674	81,855
90	1,5	30,710	38,954	44,484	46,735	49,100	51,587	56,987	62,467
120	2	25,351	32,156	36,721	38,579	40,531	42,584	47,042	51,565
150	2,5	21,847	27,711	31,645	33,246	34,929	36,698	40,539	44,438
180	3	19,346	24,540	28,023	29,441	30,931	32,498	35,900	39,352
210	3,5	17,457	22,143	25,286	26,566	27,910	29,324	32,393	35,509
240	4	15,970	20,257	23,133	24,303	25,533	26,826	29,634	32,484
270	4,5	14,764	18,727	21,386	22,468	23,605	24,800	27,396	30,031
300	5	13,763	17,457	19,935	20,944	22,004	23,118	25,538	27,994
360	6	12,187	15,459	17,653	18,547	19,486	20,472	22,615	24,790
390	6,5	11,554	14,656	16,736	17,583	18,473	19,409	21,440	23,502
420	7	10,997	13,949	15,929	16,736	17,582	18,473	20,407	22,369
450	7,5	10,503	13,322	15,213	15,983	16,792	17,643	19,489	21,363
480	8	10,060	12,761	14,573	15,310	16,085	16,900	18,669	20,464
510	8,5	9,662	12,256	13,995	14,704	15,448	16,230	17,929	19,653
540	9	9,301	11,797	13,472	14,154	14,870	15,623	17,259	18,918
570	9,5	8,971	11,380	12,995	13,653	14,344	15,070	16,648	18,249
600	10	8,670	10,997	12,558	13,194	13,862	14,564	16,088	17,635
630	10,5	8,392	10,645	12,156	12,772	13,418	14,097	15,573	17,071
660	11	8,136	10,320	11,785	12,382	13,008	13,667	15,098	16,549
690	11,5	7,899	10,019	11,441	12,020	12,628	13,268	14,657	16,066
720	12	7,678	9,739	11,121	11,684	12,275	12,897	14,247	15,617

Sumber Hasil perhitungan

Gambar 5.1. merupakan Rekap debit limpasan periode ulang 5 tahun dengan durasi 15 menit, hujan ektrim dengan intensitas 137,361 mm/jam, menggambarkan tentang kondisi saluran drainase di Kota Cirebon termasuk informasi mengenai luas daerah tergenang dan, debit limpasan. Saat terjadi hujan lebat menyebabkan air hujan melimpas ke jalan. Kondisi ini menunjukkan adanya masalah pada sistem drainase di sekitar jalan, saluran tidak mampu menampung dan mengalirkan debit air hujan dengan cukup cepat. Faktor penyebab tersumbatnya saluran drainase oleh sampah, kapasitas drainase yang terbatas, serta kurangnya area resapan turut berkontribusi terjadinya genangan.



Gambar 5.1. Rekap Kondisi Limpasan Drainase

Desain kebutuhan ruang untuk penempatan kotak infiltrasi di median jalan dengan panjang 11 m, lebar 1,00 m dan tinggi 0,90 m, penataan dan penumpukan secara memanjang membentuk 2 baris dan 2 layer, dari dimensi ruang 11m x 1,00m x 0,49m di butuhkan 44 buah kotak infiltrasi. Sehingga total volume adalah :

Untuk 20 menit volume kotak infiltrasi = $0,0095 \text{ m}^3 \times 44 = 0,2100 \text{ m}^3$

Untuk 15 menit volume kotak infiltrasi = $0,0072 \text{ m}^3 \times 44 = 0,1575 \text{ m}^3$

5.1.1. Reduksi Limpasan Periode ulang 2,5 dan 10 dengan durasi 15 menit

Dalam kajian hidrologi terapan, penentuan debit rencana untuk sistem drainase jalan memerlukan pendekatan berdasarkan data curah hujan ekstrem yang

representatif. Salah satu metode yang umum digunakan adalah pendekatan berdasarkan periode ulang (return period) dan durasi hujan, yang digunakan untuk memperkirakan intensitas hujan maksimum yang berpotensi terjadi pada suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu. Dalam penelitian ini, digunakan periode ulang 2, 5, dan 10 tahun dengan durasi hujan 15 menit, sebagai dasar perhitungan debit rencana untuk analisis limpasan permukaan.

Pemilihan Periode Ulang 2, 5, dan 10 Tahun

Pemilihan periode ulang 2, 5, dan 10 tahun didasarkan pada pertimbangan praktis dan teknis dalam perencanaan sistem drainase kawasan jalan. Periode ulang 2 tahun mewakili kejadian hujan ringan yang sering terjadi dan digunakan untuk desain saluran drainase minor. Periode ulang 5 tahun merepresentasikan kejadian hujan menengah yang berpotensi menimbulkan genangan jika tidak ditangani dengan baik, sementara periode ulang 10 tahun digunakan sebagai skenario maksimum untuk mengevaluasi ketahanan sistem terhadap kejadian hujan yang lebih ekstrem namun masih masuk dalam kategori desain praktis. Rentang periode ulang ini mencakup berbagai tingkat risiko yang diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas sistem infiltrasi dalam mereduksi debit limpasan pada berbagai skenario curah hujan.

Pemilihan Durasi Hujan Selama 15 dan 20 menit

Adapun pemilihan durasi hujan selama 15 dan 20 menit didasarkan pada analisis waktu konsentrasi (time of concentration) pada area kajian, yang mengindikasikan bahwa respon hidrologis terhadap kejadian hujan puncak umumnya terjadi dalam rentang waktu singkat. Durasi ini juga merepresentasikan karakteristik hujan lokal yang bersifat intens dan cepat, yang berpotensi menghasilkan debit limpasan puncak dalam waktu singkat. Oleh karena itu, durasi 15 dan 20 menit dinilai sebagai skenario yang paling kritis dan realistis untuk menguji kapasitas saluran serta efektivitas kotak infiltrasi dalam menahan dan meresapkan air hujan.

Dengan kombinasi durasi dan periode ulang tersebut, penelitian ini berupaya memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik limpasan permukaan di lokasi badan jalan, serta menilai tingkat efektivitas kotak infiltrasi dalam mereduksi debit limpasan pada kondisi hujan ekstrem jangka pendek, yang umumnya menjadi penyebab utama genangan di kawasan urban.

Tabel 5.3. Sebelum Adanya Kotak Infiltrasi

No	Periode Ulang (tahun)	Q Rencana (m ³ /detik)	Q Saluran (m ³ /detik)	Q Limpasan (m ³ /detik)
1	2	0,3844	0,1218	0,2626
2	5	0,4876	0,1218	0,3658
3	10	0,5568	0,1218	0,4350

Sumber Hasil perhitungan

Tabel 5.3 menunjukkan nilai debit limpasan (Q Limpasan) yang terjadi pada lokasi badan jalan sebelum adanya kotak infiltrasi. Debit limpasan dihitung berdasarkan selisih antara Q Rencana, yaitu debit maksimum yang diperkirakan terjadi pada periode ulang tertentu, dengan Q Saluran, yaitu kapasitas maksimum dari saluran drainase eksisting. Tabel ini memperlihatkan bahwa untuk semua periode ulang (2, 5, dan 10 tahun), nilai Q Rencana secara signifikan melebihi kapasitas saluran, sehingga menghasilkan limpasan berlebih yang berpotensi menimbulkan genangan dan kerusakan badan jalan. Nilai-nilai di atas memperlihatkan bahwa tanpa adanya sistem infiltrasi atau tampungan tambahan, limpasan permukaan tidak tertampung seluruhnya oleh saluran, dan semakin besar periode ulang hujan, semakin tinggi pula debit limpasan yang terjadi.

Tabel 5.4. Sesudah Adanya Kotak Infiltrasi

No	Periode Ulang (tahun)	Q Rencana (m ³ /detik)	Q Saluran (m ³ /detik)	Q Tampungan dan Resapan (m ³ /detik)	Reduksi Q Limpasan (%)
1	2	0,3844	0,1218	0,1575	59,98%
2	5	0,4876	0,1218	0,1575	43,06%
3	10	0,5568	0,1218	0,1575	36,21%

Sumber Hasil perhitungan

Tabel 5.4 menampilkan data setelah penerapan kotak infiltrasi, yang berfungsi sebagai elemen pengendali limpasan dengan cara menampung dan meresapkan sebagian debit air hujan ke dalam tanah. Dalam kondisi ini, selain Q Saluran yang tetap sama, terdapat tambahan kapasitas berupa Q Tampung dan Resapan, yaitu kemampuan kotak infiltrasi untuk menahan dan menyerap air hujan. Pengaruh kotak ini dinilai berdasarkan prosentase reduksi debit limpasan, yang menunjukkan seberapa besar efektivitas kotak infiltrasi dalam mengurangi beban aliran permukaan. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa kotak infiltrasi sangat efektif mengurangi debit limpasan, terutama pada hujan dengan periode ulang yang lebih pendek. Pada periode ulang 2 tahun, kotak infiltrasi mampu mengurangi limpasan hingga hampir 60%. Meskipun efektivitasnya menurun pada periode ulang yang lebih besar (karena debit rencana juga meningkat), kotak infiltrasi tetap menunjukkan kontribusi yang signifikan dalam menahan limpasan.

5.1.2. Reduksi Limpasan Periode ulang 2,5 dan 10 dengan durasi 20 menit

Reduksi limpasan merupakan indikator penting dalam menilai efektivitas sistem pengendalian limpasan permukaan, seperti kotak infiltrasi, dalam menampung dan meresapkan air hujan sebelum mencapai saluran drainase utama. Pada skenario dengan durasi hujan 20 menit, dilakukan analisis terhadap debit rencana untuk periode ulang 2, 5, dan 10 tahun guna mengevaluasi perubahan volume limpasan akibat intervensi infrastruktur resapan.

Tabel 5.5. Sebelum Adanya Kotak Infiltrasi

No	Periode Ulang (tahun)	Q Rencana (m ³ /detik)	Q Saluran (m ³ /detik)	Q Limpasan (m ³ /detik)
1	2	0,3621	0,1218	0,2403
2	5	0,3769	0,1218	0,2551
3	10	0,4304	0,1218	0,3086

Sumber Hasil perhitungan

Tabel 5.5 menyajikan kondisi debit rencana dan limpasan permukaan sebelum adanya kotak infiltrasi, di mana hanya saluran eksisting yang menjadi sarana pembuangan limpasan. Debit limpasan meningkat seiring bertambahnya

periode ulang, karena curah hujan yang lebih besar menghasilkan limpasan yang lebih tinggi. Saluran eksisting memiliki kapasitas tetap ($0,1218 \text{ m}^3/\text{detik}$), sehingga tidak mampu menampung seluruh debit rencana pada semua skenario menyebabkan akumulasi limpasan (Q Limpasan) yang berpotensi menimbulkan genangan.

Tabel 5.6. Sesudah Adanya Kotak Infiltrasi

No	Periode Ulang (tahun)	Q Rencana (m^3/detik)	Q Saluran (m^3/detik)	Q Tampung dan Resapan (m^3/detik)	Reduksi Q Limpasan (%)
1	2	0,3621	0,1218	0,2100	87,40%
2	5	0,3769	0,1218	0,2100	82,32%
3	10	0,4304	0,1218	0,2100	68,05%

Sumber Hasil perhitungan

Tabel 5.6 menunjukkan perubahan debit limpasan setelah dilakukan penerapan kotak infiltrasi sebagai solusi pengendalian limpasan permukaan. Setelah diterapkannya kotak infiltrasi, sebagian besar limpasan dapat ditampung dan diserap oleh sistem, sehingga volume limpasan yang keluar ke saluran jauh berkurang. Reduksi tertinggi terjadi pada periode ulang 2 tahun (87,40%), sedangkan periode ulang 10 tahun mengalami penurunan efektivitas hingga 68,05%. Ini menunjukkan bahwa, Sistem infiltrasi sangat efektif untuk mengatasi hujan ringan hingga menengah, tetapi efektivitasnya relatif menurun untuk hujan ekstrem, karena kapasitas tumpungan terbatas. Nilai Q tumpungan dan resapan tetap pada $0,2100 \text{ m}^3/\text{detik}$, mengindikasikan bahwa sistem infiltrasi dirancang dengan kapasitas maksimal tersebut.

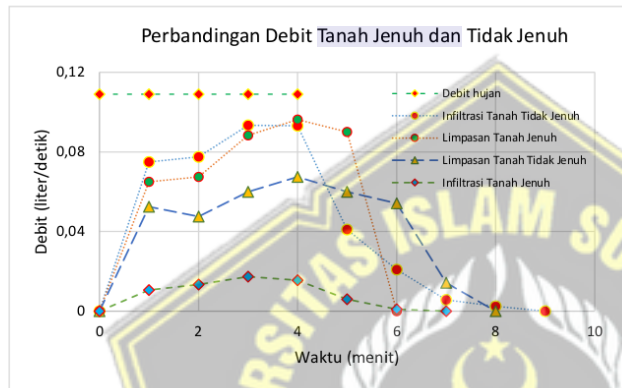
5.2. Pengaruh Karakteristik Tanah Terhadap Limpasan

Karakteristik tanah memegang peranan penting dalam menentukan besar kecilnya debit limpasan permukaan. Sifat fisik tanah seperti tekstur, struktur, porositas, dan tingkat kejenuhan secara langsung memengaruhi kemampuan tanah untuk menyerap air hujan. Ketika tanah memiliki daya infiltrasi yang tinggi, sebagian besar air hujan dapat masuk ke dalam tanah, sehingga mengurangi volume limpasan yang mengalir di permukaan. Sebaliknya, ketika kapasitas infiltrasi

rendah atau telah terpenuhi, air akan cenderung mengalir sebagai limpasan permukaan, meningkatkan risiko genangan atau banjir lokal.

5.2.1. Uji ke 1 Limpasan Pada Kotak Infiltrasi Sederhana

Uji kotak infiltrasi sederhana menghasilkan perbandingan debit limpasan antara dua kondisi tanah, yaitu tanah jenuh dan tanah tidak jenuh, terhadap waktu (dalam menit). Sumbu X menunjukkan waktu (0 hingga 9 menit), sedangkan sumbu Y menunjukkan debit limpasan dalam satuan liter per detik (L/detik). Gambar 5.2. terlihat perbedaan debit limpasan dan infiltrasi untuk tanah jenuh dan tanah tidak jenuh.



Gambar 5.2. Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh

Grafik Limpasan Tanah Jenuh

- Memiliki debit limpasan yang lebih tinggi secara keseluruhan dibanding tanah tidak jenuh.
- Puncak debit terjadi pada menit ke-4 dengan nilai 0,096 L/detik.
- Debit mulai meningkat tajam sejak menit ke-1, mencapai puncaknya di menit ke-4, dan mulai menurun hingga habis di menit ke-7.

- Menunjukkan bahwa tanah yang telah jenuh tidak memiliki kapasitas tambahan untuk menyerap air, sehingga air hujan langsung mengalir sebagai limpasan. Puncak limpasan yang tinggi dalam waktu singkat ini juga mencerminkan respon hidrologi cepat yang berpotensi menyebabkan genangan berlebih pada saluran drainase.

Grafik Limpasan Tanah Tidak Jenuh

- Debit awal lebih rendah dibanding tanah jenuh.
- Puncak debit juga terjadi di menit ke-4, dengan nilai puncak 0,068 L/detik.
- Garis ini menunjukkan kenaikan debit yang lebih lambat dan lebih stabil, serta penurunan debit yang lebih halus.
- Debit limpasan meningkat secara bertahap dan stabil, mencerminkan kemampuan tanah dalam menyerap sebagian besar air hujan sebelum menjadi limpasan. Penurunan debit pun berlangsung lebih lambat, dan debit mencapai nol pada menit ke-8. Karakteristik ini mencerminkan efektivitas infiltrasi yang tinggi, sehingga air hujan sebagian besar tertahan dan masuk ke dalam tanah.

Tanah jenuh menghasilkan limpasan lebih tinggi dan lebih cepat, karena air tidak dapat meresap ke dalam tanah. Tanah tidak jenuh memberikan efek buffering atau penundaan, di mana sebagian air hujan masuk ke dalam tanah menghasilkan limpasan yang lebih lambat, lebih kecil, dan lebih terkendali. Gambar 5.2. memperkuat pentingnya kondisi tanah dalam perencanaan pengelolaan air hujan dan sistem infiltrasi, seperti kotak resapan atau sumur resapan.

Tabel 5.7. Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh

Variasi	Debit Limpasan	
	L/detik	%
Tanah Jenuh	0,0814	74,68
Tanah Tidak Jenuh	0,0509	46,70

Sumber Hasil perhitungan

Pada kondisi tanah jenuh, debit limpasan tercatat sebesar 0,0814 L/detik, atau setara dengan 74,68% dari total debit rencana. Angka ini menunjukkan bahwa ketika pori-pori mulai terisi air, kapasitas infiltrasi tanah menjadi sangat terbatas.

72 Air hujan yang datang diserap sangat kecil ke dalam tanah dan langsung berubah menjadi limpasan permukaan. Akibatnya, sistem kotak infiltrasi hanya mampu mengurangi sebagian kecil dari debit limpasan, karena fungsi resapan tanah tidak aktif secara optimal.

Pada kondisi tanah tidak jenuh, debit limpasan menurun signifikan menjadi 0,0509 L/detik, atau hanya 46,70% dari debit rencana. Ini mengindikasikan bahwa kotak infiltrasi bekerja lebih efisien karena tanah masih memiliki ruang pori untuk menyerap air. Kemampuan infiltrasi yang tinggi menyebabkan air hujan sebagian besar masuk ke dalam tanah, sehingga volume limpasan yang mengalir ke permukaan menjadi jauh lebih kecil.

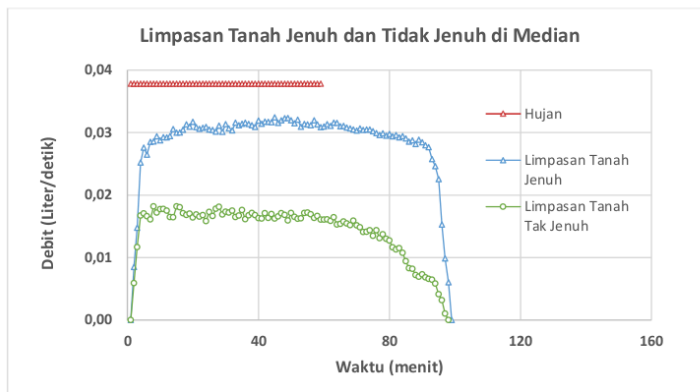
$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{Q_{\text{jenuh}} - Q_{\text{tidak jenuh}}}{Q_{\text{jenuh}}} \right) * 100\%$$

$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{0,0814 - 0,0509}{0,0814} \right) * 100\% = 34,47 \%$$

Pada tanah tidak jenuh, kotak infiltrasi mampu mengurangi limpasan 34,47%, menunjukkan efisiensi sistem dalam mendukung pengelolaan air hujan dan mengurangi risiko genangan. Sementara itu, pada tanah jenuh, meskipun masih terjadi pengurangan limpasan, efektivitasnya menurun, karena infiltrasi tidak lagi berlangsung secara signifikan. Hasil ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan kondisi tanah saat merancang sistem infiltrasi, serta perlunya drainase pendukung pada area dengan risiko kejenuhan tanah tinggi, agar sistem infiltrasi tetap berfungsi optimal.

5.2.2. Uji ke 3 Eksisting Aliran di Median Jalan dan Saluran Tepi

Uji ini bertujuan mengevaluasi kinerja hidrologis dari dua bentuk penanganan eksisting jalan terhadap limpasan permukaan, Flume median merupakan hasil konversi median jalan, Flume drainase merupakan hasil konversi saluran tepi jalan. Kedua sistem diuji untuk dua kondisi kelembaban tanah. Tanah jenuh, mensimulasikan kondisi setelah hujan berturut-turut atau pada area berdrainase buruk. Tanah tidak jenuh, merepresentasikan kondisi tanah yang masih memiliki kapasitas serapan.



Gambar 5.3. Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Median

Gambar 5.3, Limpasan Flume Median

- Tanah jenuh menunjukkan debit puncak mencapai rata rata 0,030 L/detik dan fluktuasi yang lebih tinggi, dengan pola debit relatif stabil hingga akhir pengujian 32 menit
- Tanah tidak jenuh memiliki debit lebih rendah, rata rata 0,022 L/detik, dengan garik stabil.

Hasil uji laboratorium menyatakan bahwa :

- Tanah jenuh menghasilkan debit limpasan lebih besar karena infiltrasi sangat kecil.
- Flume median memiliki kapasitas limpasan lebih besar, tetapi tanpa infiltrasi meningkat bila tanah telah jenuh.

Tabel 5.8. Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Median

Variasi	Debit Limpasan	
	L/detik	%
Tanah Jenuh	0,0289	76,44
Tanah Tidak Jenuh	0,0144	38,18

Sumber Hasil perhitungan

Perbandingan Efisiensi Resapan:

- Pada flume median, penurunan debit limpasan dari kondisi jenuh ke tidak jenuh adalah:

$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{Q_{\text{jenuh}} - Q_{\text{tidak jenuh}}}{Q_{\text{jenuh}}} \right) * 100\%$$

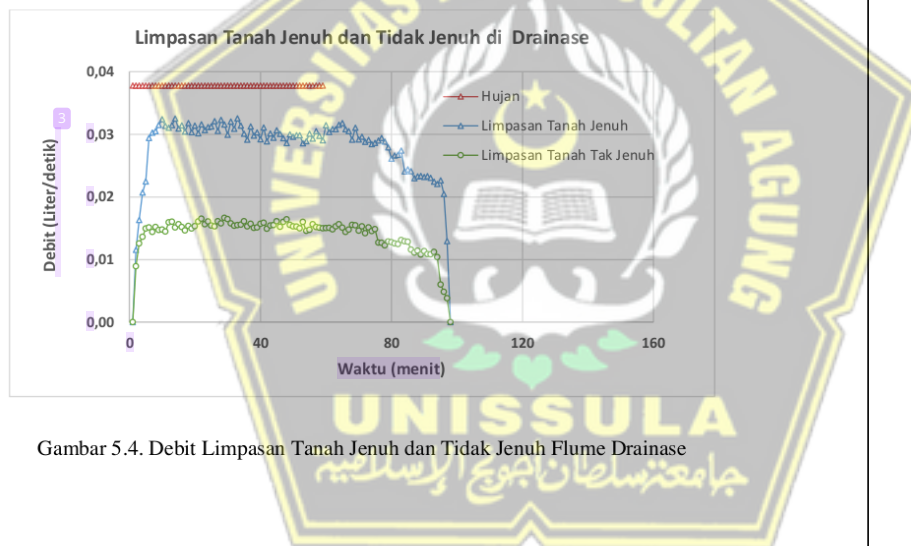
$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{0,0289 - 0,0144}{0,0289} \right) * 100\% = 50,048 \%$$

- Pada flume drainase, penurunannya :

$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{Q_{\text{jenuh}} - Q_{\text{tidak jenuh}}}{Q_{\text{jenuh}}} \right) * 100\%$$

$$\% \text{ Reduksi Limpasan} = \left(\frac{0,0282 - 0,0141}{0,082} \right) * 100\% = 50,073 \%$$

- Persentase Reduksi menunjukkan flume median memberikan penurunan limpasan sebesar 50,048 %, sedangkan flume drainase sebesar 50,073 % saat beralih dari tanah jenuh ke tidak jenuh.



Gambar 5.4. Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Drainase

Gambar 5.4. Limpasan pada Flume Drainase

- Tanah jenuh menunjukkan debit 0,0282 L/detik, sedikit lebih rendah dibanding flume median.
- Tanah tidak jenuh menghasilkan debit 0,0141 L/detik dengan grafik yang lebih rendah.

Hasil uji laboratorium menyatakan bahwa :

- Flume drainase lebih efisien dalam mengatur limpasan, terutama pada kondisi tanah tidak jenuh.
- Potensi resapan lebih optimal terjadi saat tanah belum jenuh.

Tabel 5.9. Debit Limpasan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Drainase

Variasi	Debit Limpasan	
	L/detik	%
Tanah Jenuh	0,0282	74,65
Tanah Tidak Jenuh	0,0141	37,27

Sumber Hasil perhitungan

- Flume median cenderung menghasilkan debit limpasan lebih tinggi dibanding flume drainase, disebabkan oleh posisi median yang lebih tinggi dan kapasitas tampung yang lebih kecil terhadap limpasan lintasan jalan secara langsung.
- Tanah tidak jenuh berperan besar dalam mereduksi debit, menunjukkan pentingnya mempertahankan kondisi tanah yang belum jenuh melalui sistem infiltrasi periodik atau vegetasi penutup tanah.
- Perbedaan efisiensi pada kedua flume menegaskan bahwa karakteristik substrat tanah dan desain geometris flume sangat memengaruhi performa pengendalian limpasan.

Penerapan variasi pengujian disimpulkan bahwa:

- Flume drainase dengan tanah tidak jenuh merupakan kombinasi terbaik dalam konteks efisiensi pengurangan limpasan permukaan.
- Penggunaan median jalan sebagai flume tetap menjanjikan, tetapi perlu dioptimalkan dengan kotak infiltrasi atau substrat resapan tambahan.

- Hasil ini mendukung pengembangan infrastruktur hijau di jalan perkotaan yang padat dengan pendekatan berbasis infiltrasi.
- Penerapan hasil ini dapat dipertimbangkan dalam perencanaan LID (Low Impact Development) dan pengembangan perencanaan desain ruang sempit perkotaan.

Rekomendasi Teknis

- a. Desain Median Jalan (Flume Median) Direkomendasikan untuk dilengkapi media infiltrasi seperti pasir kasar, batuan, dan vegetasi akar serabut. Memiliki potensi sebagai area penyerapan air hujan sebelum mencapai saluran tepi.
- b. Desain Saluran Tepi Jalan (Flume Drainase). Dapat dikombinasikan dengan kotak infiltrasi untuk peningkatan performa hidrologis. Cocok diterapkan di area dengan tanah yang cenderung jenuh karena keberadaan sistem aliran bawah permukaan.
- c. Perlakuan Tanah, Kondisi tanah harus dikelola agar tidak selalu dalam keadaan jenuh, melalui jeda waktu antar hujan atau sistem drainase bawah tanah. Perbaikan tanah bisa menjadi alternatif untuk meningkatkan kapasitas infiltrasi pada tanah dengan daya resap rendah (Biochar adalah arang hayati, sedangkan zeolit adalah mineral alumino-silikat. Keduanya memiliki sifat penyerapan yang baik dan dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas tanah).

Hasil Analisis

- Peran tanah tidak jenuh sangat penting dalam menurunkan debit limpasan hingga >20% dibanding kondisi jenuh, pada dua tipe flume yang diuji.
- Flume median lebih rentan terhadap limpasan besar, tetapi memiliki potensi optimalisasi tinggi bila dikombinasikan dengan media infiltrasi.
- Flume drainase lebih stabil dan efisien, terutama dalam pengendalian jangka panjang.
- Kombinasi teknologi kotak infiltrasi, pemilihan media tanah yang tepat, dan pemeliharaan kejenuhan tanah, adalah kunci utama keberhasilan sistem infiltrasi skala mikro untuk kawasan jalanan perkotaan.

5.3. Pengaruh Karakteristik Tanah Terhadap Infiltrasi

Karakteristik tanah merupakan salah satu faktor paling penting dalam proses hidrologi permukaan, khususnya dalam menentukan kapasitas infiltrasi dan volume limpasan yang terbentuk akibat curah hujan. Infiltrasi adalah proses masuknya air ke dalam pori-pori tanah dari permukaan, dan kecepatannya sangat dipengaruhi oleh kondisi kejenuhan tanah.

1. Tanah Tidak Jenuh (Unsaturated Soil)

Tanah tidak jenuh adalah kondisi ketika pori-pori tanah masih mengandung udara dan belum terisi penuh oleh air. Pada kondisi ini, kapasitas infiltrasi berada pada tingkat maksimum, karena air hujan dapat dengan cepat diserap oleh tanah. Adanya ruang pori yang tersedia memungkinkan air meresap lebih dalam, sehingga mengurangi volume air yang mengalir di permukaan sebagai limpasan.

Beberapa faktor yang memperkuat infiltrasi pada tanah tidak jenuh antara lain:

- Tingginya porositas dan permeabilitas tanah (misalnya pada tanah berpasir atau lempung berstruktur granular)
- Ketebalan lapisan tanah atas yang longgar dan belum terkonsolidasi
- Vegetasi penutup yang membantu memperlambat aliran permukaan dan meningkatkan retensi air

Secara hidrologis, tanah tidak jenuh sangat mendukung pengurangan debit limpasan, karena sebagian besar air hujan tertampung dan diserap sebelum mencapai saluran drainase.

2. Tanah Jenuh (Saturated Soil)

Tanah jenuh adalah kondisi ketika pori-pori tanah mulai penuh terisi air dan memiliki ruang terbatas untuk menyerap tambahan air dari curah hujan. Pada titik ini, laju infiltrasi turun secara drastis hingga mendekati nol, dan kelebihan air hujan berubah menjadi limpasan permukaan (surface runoff).

Beberapa penyebab kejenuhan tanah antara lain:

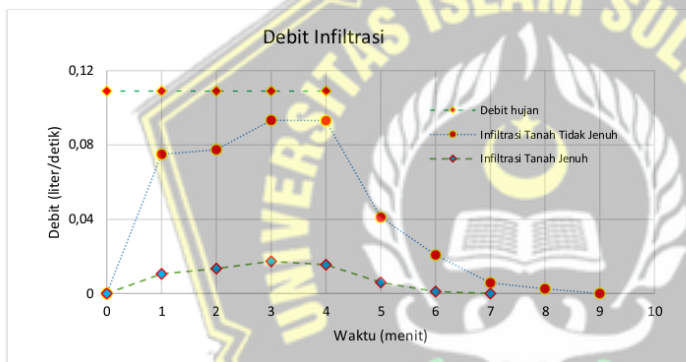
- Curah hujan tinggi dalam durasi pendek atau berulang

- Tingginya muka air tanah yang menyebabkan lapisan bawah tanah jenuh secara vertikal
- Tanah liat berat (clay) dengan permeabilitas rendah yang cepat jenuh
- Drainase tanah buruk, seperti di daerah dataran rendah atau cekungan

Pada kondisi tanah jenuh, bahkan hujan ringan dapat menghasilkan limpasan yang signifikan karena kapasitas serapan mulai terbatas. Hal ini menjadi perhatian utama dalam perencanaan sistem resapan atau infrastruktur infiltrasi, seperti kotak infiltrasi, karena sistem tersebut menjadi kurang efektif saat tanah sudah dalam kondisi jenuh.

5.3.1. Uji 1, Infiltrasi, Pada Kotak Infiltrasi Sederhana

Pengaruh Karakteristik Tanah Terhadap Infiltrasi, pada Gambar 5.5. di bawah menunjukkan perbandingan debit infiltrasi antara kondisi tanah tidak jenuh dan tanah jenuh terhadap waktu. Terlihat secara jelas bahwa karakteristik kejenuhan tanah memiliki dampak terhadap laju dan kapasitas infiltrasi air.



Gambar 5.5. Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh

Infiltrasi pada Tanah Tidak Jenuh

Gambar infiltrasi untuk tanah tidak jenuh menunjukkan debit awal yang tinggi dan meningkat dengan cepat, mencapai puncak sekitar 0,09 L/detik pada

menit ke-3 hingga ke-4. Setelah mencapai titik maksimum, debit mulai menurun secara bertahap. Pola ini menggambarkan bahwa pada awal proses, air dengan mudah masuk ke dalam pori-pori tanah karena masih tersedia banyak ruang kosong antar partikel tanah (porositas tinggi dan belum terisi air). Debit yang tinggi pada kondisi tidak jenuh mencerminkan kapasitas infiltrasi maksimum.

Infiltrasi pada Tanah Jenuh

Infiltrasi pada tanah jenuh menunjukkan debit yang jauh lebih rendah. Debit awal naik secara perlahan dan hanya mencapai sekitar 0,04 L/detik, yang merupakan kurang dari 50% dari nilai maksimum tanah tidak jenuh. Setelah puncaknya di menit ke-3 hingga ke-4, debit pun turun lebih cepat dan mencapai titik hampir nol pada menit ke-7. Kondisi tanah jenuh, bahwa pori-pori tanah telah terisi air sebelumnya, sehingga laju infiltrasi sangat terbatas oleh kecepatan pergerakan air melalui lapisan jenuh.

Perbandingan dalam penerapan tanah jenuh dan tidak jenuh

- Debit infiltrasi tanah tidak jenuh menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dan daya serap lebih besar.
- Debit tanah jenuh mengalami keterbatasan akibat minimnya ruang kosong antar partikel tanah untuk menyerap air lebih lanjut.
- Pola grafik menunjukkan bahwa desain sistem resapan harus mempertimbangkan kondisi kelembaban tanah setempat dan diperlukan pemulihan tanah setelah kejenuhan agar infiltrasi kembali optimal.

Penerapan desain Perencanaan

Untuk keperluan rekayasa drainase berkelanjutan dan pengelolaan air hujan, temuan ini menunjukkan pentingnya:

- Menyesuaikan kapasitas kotak infiltrasi dengan skenario kejenuhan tanah.
- Menambahkan sistem limpasan tambahan jika curah hujan tinggi atau kejenuhan tanah sering terjadi.
- Mengintegrasikan kelembaban tanah dalam pengoperasian sistem infiltrasi yang dapat menyesuaikan keadaan atau perubahan lokasi sekitarnya.

Tabel 5.10. Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh

Variasi	Debit Infiltrasi	
	L/detik	%
Tanah Jenuh	0,0266	24,40
Tanah Tidak Jenuh	0,0581	53,28

Sumber Hasil perhitungan

Kemampuan tanah untuk melakukan infiltrasi Tabel 5.10 sangat dipengaruhi oleh kondisi kejenuhannya. Infiltrasi berperan penting dalam mengurangi limpasan permukaan dan mendukung pengisian air tanah. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kondisi awal tanah jenuh atau tidak jenuh yang memberikan pengaruh yang terhadap debit infiltrasi.

Pada kondisi tanah tidak jenuh, debit infiltrasi sebesar 0,0581 L/detik, dengan efisiensi infiltrasi mencapai 53,28%. Angka ini mencerminkan bahwa tanah dalam kondisi tidak jenuh masih memiliki ruang pori yang cukup untuk menampung dan menyerap air. Porositas efektif dalam tanah tidak jenuh memungkinkan air hujan meresap lebih cepat ke dalam lapisan tanah, mengurangi potensi limpasan. Kemampuan serapan yang tinggi pada tanah tidak jenuh ini menjadi faktor penting dalam perencanaan sistem resapan kotak infiltrasi.

kondisi tanah jenuh, debit infiltrasi hanya sebesar 0,0266 L/detik, atau setara dengan efisiensi infiltrasi sebesar 24,40%, bahwa pada saat tanah telah mencapai kapasitas lapang (field capacity) atau mendekati titik jenuh, kemampuan tanah untuk menyerap air menjadi sangat terbatas. Air yang datang pada kondisi tersebut sangat kecil masuk lebih lanjut ke dalam tanah, karena keterbatasan pori-pori telah terisi air. Akibatnya, sebagian besar air akan langsung menjadi limpasan permukaan, berkontribusi pada peningkatan risiko genangan dan banjir.

Hasil Penerapan Variasi Karakteristik Tanah

Hasil pengujian infiltrasi berdasarkan variasi karakteristik tanah menunjukkan bahwa kondisi kejenuhan tanah sangat menentukan besar kecilnya kapasitas infiltrasi. Pada tanah tidak jenuh, debit infiltrasi mencapai 0,0581 L/detik menunjukkan kinerja serapan yang cukup tinggi. Angka ini memperlihatkan bahwa sistem resapan, kotak infiltrasi, akan lebih optimal ketika diterapkan pada kondisi

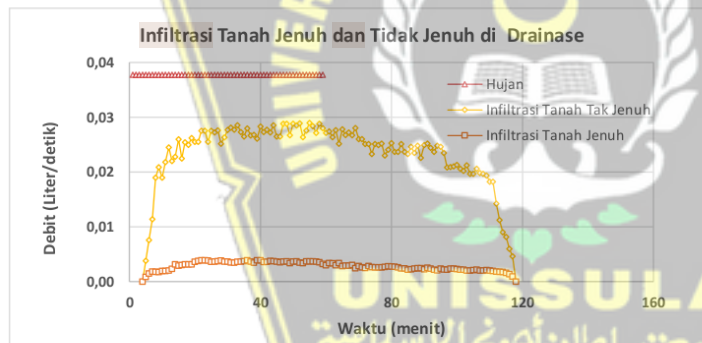
tanah yang belum mengalami kejenuhan penuh. Dalam sistem drainase perkotaan, kondisi ini tercapai setelah periode kering atau pada saat curah hujan sedang hingga rendah. Tanah jenuh, debit infiltrasi turun menjadi 0,0266 L/detik, mengindikasikan bahwa kemampuan serapan tanah menurun drastis. Penurunan ini tidak hanya berdampak pada efektivitas kotak infiltrasi, tetapi juga meningkatkan potensi limpasan permukaan.

Hasil dari temuan ini sangat strategis dalam desain dan penerapan sistem pengelolaan air hujan, khususnya dalam upaya mitigasi banjir mikro di lingkungan perkotaan. Kotak infiltrasi dirancang dengan mempertimbangkan kondisi tanah lokal, serta kapasitas infiltrasi pada berbagai tingkat kejenuhan. Selain itu, diperlukan pendekatan manajemen tanah yang mempertahankan porositas dan mencegah pemadatan tanah, agar efisiensi infiltrasi tetap tinggi sepanjang waktu.

5.3.2. UJI ke 3, Infiltrasi Pada Eksisting Aliran di Median Jalan dan Saluran Tepi

Hasil uji laboratorium untuk infiltrasi pada flume drainase.

Uji infiltrasi ini dilakukan menggunakan alat flume drainase untuk membandingkan debit infiltrasi antara tanah dalam kondisi jenuh dan tidak jenuh. Tujuannya adalah memahami pengaruh kejenuhan tanah terhadap laju infiltrasi air yang meresap ke dalam tanah.



Gambar 5.6. Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Drainase

Pada awal uji (menit 0–10), terjadi kenaikan drastis debit infiltrasi, khususnya pada tanah tidak jenuh. Tanah tidak jenuh mencapai puncaknya lebih cepat dan mempertahankan laju infiltrasi lebih tinggi dan stabil hingga akhir uji (sekitar 90–100 menit). Setelah titik puncak, debit menurun menandakan bahwa tanah mulai mendekati kejenuhan, sehingga infiltrasi berkurang. Tanah jenuh memiliki pola yang lebih datar dan tidak pernah mencapai nilai setinggi tanah tidak jenuh.

Tabel 5.11. Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh

Variasi	Debit Infiltrasi	
	L/detik	%
Tanah Jenuh	0,0093	24,68
Tanah Tidak Jenuh	0,0235	62,22

Sumber Hasil perhitungan

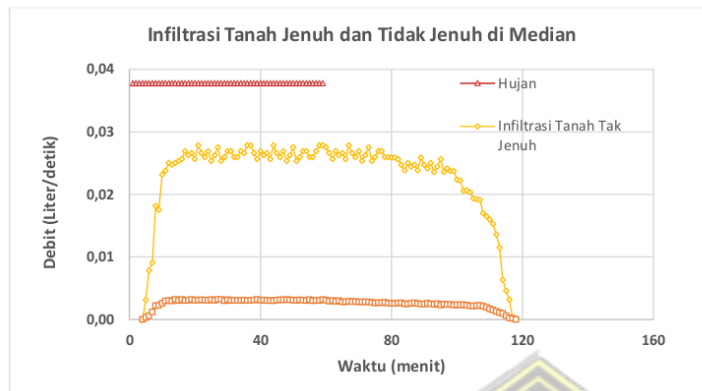
Perbandingan Infiltrasi, Tanah tidak jenuh memiliki debit infiltrasi lebih besar (0,0235 L/detik) dibandingkan tanah jenuh (0,0093 L/detik). Selisih debit infiltrasi menunjukkan pengaruh besar dari kondisi kejenuhan terhadap kapasitas tanah menyerap air. Pada kondisi tanah tidak jenuh, ruang pori dalam tanah masih tersedia untuk menampung air. Terjadi gaya kapiler yang membantu menarik air masuk lebih cepat. Oleh karena itu, laju infiltrasi lebih tinggi dan cepat mencapai kondisi stabil. Saat kondisi tanah jenuh, ruang pori terbatas, sehingga tidak banyak air yang bisa ditampung mengakibatkan laju infiltrasi menurun karena air harus melawan tekanan pori dan kejenuhan, akibatnya air lebih mudah mengalir ke permukaan dari pada meresap.

Tanah tidak jenuh menunjukkan performa infiltrasi yang lebih baik dibandingkan tanah jenuh. Dalam aplikasi perencanaan sistem drainase dan pengendalian limpasan permukaan, sangat penting untuk mempertimbangkan kondisi kejenuhan tanah. Efisiensi infiltrasi menurun ketika tanah berada dalam kondisi jenuh, bisa menyebabkan genangan.

Hasil uji laboratorium untuk infiltrasi pada flume Median

Pengujian infiltrasi lanjutan dilakukan menggunakan media flume median untuk membandingkan laju infiltrasi pada kondisi tanah jenuh dan tidak jenuh.

Grafik hasil uji ditampilkan dalam Gambar 5.7, dan nilai debit infiltrasi rata-rata dirangkum pada Tabel 5.12.



Gambar 5.7. Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Median

Gambar 5.7. terlihat Grafik Infiltrasi Flume Median, menunjukkan perbedaan laju infiltrasi antara tanah jenuh dan tanah tidak jenuh. Tanah tidak jenuh menunjukkan peningkatan cepat pada menit awal dan mempertahankan laju lebih tinggi sepanjang periode pengamatan dibandingkan tanah jenuh. Pada awal pengujian, debit infiltrasi tanah tidak jenuh mengalami peningkatan hingga mencapai nilai 0,0233 L/detik, dan bertahan relatif stabil antara menit ke-10 hingga menit ke-90. Setelah itu, debit mulai menurun, mengindikasikan bahwa tanah mulai mendekati kondisi jenuh. Pada tanah jenuh, kenaikan debit jauh lebih lambat dan tidak mencapai nilai tinggi. Debit maksimum tercatat hanya sebesar 0,0086 L/detik, serta memiliki pola datar dan penurunan lebih awal dibandingkan kondisi tidak jenuh.

Tabel 5.12. Debit Infiltrasi Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Flume Median

Variasi	Debit Infiltrasi	
	L/detik	%
Tanah Jenuh	0,0086	22,83
Tanah Tidak Jenuh	0,0233	61,74

Sumber Hasil perhitungan

Efisiensi dan Kapasitas Infiltrasi

Persentase infiltrasi tanah tidak jenuh sebesar 61,74 %, sedangkan tanah jenuh hanya 22,83 %. Ini menunjukkan perbedaan efisiensi infiltrasi yang cukup besar, dan menegaskan bahwa kondisi kejenuhan berpengaruh langsung terhadap daya serap tanah. Pada tanah tidak jenuh, air dengan mudah diserap ke dalam pori-pori kosong karena adanya gaya kapiler dan tekanan pori. Pada tanah jenuh telah terisi air menyebabkan air yang masuk hanya bisa bergerak dengan perlahan mengikuti gaya gravitasi, tanpa dukungan kapilaritas.

Dalam perencanaan drainase median jalan, dan sistem infiltrasi kawasan perkotaan, hasil ini memberikan pemahaman yang diperoleh dari hasil uji analisis laboratorium tentang pentingnya median dengan kondisi tidak jenuh dapat dijadikan zona resapan air hujan yang efektif, sementara pada kondisi jenuh, perlu dipertimbangkan sistem drainase kotak infiltrasi, saluran limpasan, sumur resapan untuk menghindari genangan.

5.4. Analisis Uji Limpasan di Median Jalan, Tanpa Kotak Infiltrasi dan Dengan Kotak Infiltrasi

Uji laboratorium ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik laju infiltrasi air pada media flume median dengan dua variasi kondisi, yaitu tanpa menggunakan kotak infiltrasi dan dengan menggunakan kotak infiltrasi. Pengujian dilakukan untuk mensimulasikan kondisi nyata pada area median jalan atau ruang terbuka yang berfungsi sebagai zona resapan.

Pada variasi tanpa kotak infiltrasi, air dialirkan langsung ke permukaan median tanpa adanya pembatas khusus. Hasilnya menunjukkan bahwa air cenderung menyebar lebih luas di permukaan sebelum meresap, dan infiltrasi terjadi secara alami sesuai kontur dan kepadatan tanah yang ada, sedangkan pada variasi dengan kotak infiltrasi, area resapan dibatasi oleh kotak infiltrasi yang berfungsi sebagai wadah penampung air sementara. Penggunaan kotak ini mempercepat peresapan air karena konsentrasi aliran fokus pada satu titik. Selain itu, kotak juga membantu menekan air secara vertikal ke dalam tanah, meningkatkan efisiensi infiltrasi.

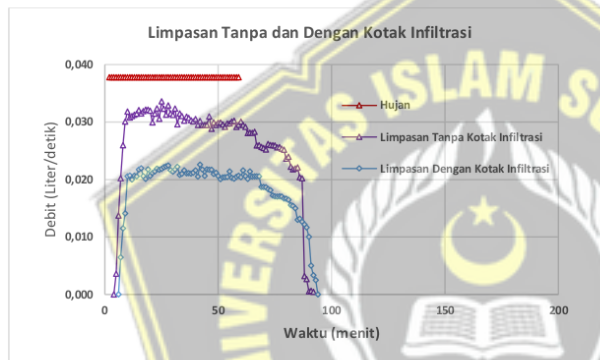
Perbandingan kedua metode menunjukkan bahwa penggunaan kotak infiltrasi dapat meningkatkan laju dan konsistensi infiltrasi, serta mengontrol sebaran aliran air permukaan dengan baik. Metode ini dinilai lebih representatif untuk sistem drainase terapan di lapangan untuk Kotak Infiltrasi di median untuk area sempit.

5.4.1. Uji ke 2 Kotak Infiltrasi di Median Jalan (Flume Median)

Uji kotak infiltrasi di median jalan bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kotak infiltrasi yang dipasang pada flume median, yaitu modifikasi saluran di median jalan untuk difungsikan sebagai area tangkapan dan resapan air. Flume median merupakan solusi adaptif terhadap ruang terbatas di kawasan jalan.

Pengujian dilakukan dalam dua skenario:

- Tanpa kotak infiltrasi, menggambarkan kondisi eksisting.
- Dengan kotak infiltrasi, sebagai skenario perbaikan.



Gambar 5.8. Limpasan di Median, Tanpa dan Dengan Menggunakan Kotak

Gambar 5.8. menunjukkan perbandingan debit limpasan terhadap waktu (dalam menit) antara dua kondisi tersebut.

- Tanpa kotak infiltrasi, limpasan meningkat tajam hingga mencapai puncak sekitar 0,030 L/detik, kemudian relatif stabil hingga sekitar menit ke-90 sebelum menurun secara perlahan.

- Dengan kotak infiltrasi, debit limpasan juga meningkat tetapi lebih rendah, dengan puncak sekitar 0,024 L/detik, dan cenderung lebih stabil sepanjang durasi uji.

Kondisi ini mengindikasikan bahwa:

- Kotak infiltrasi berhasil mereduksi debit puncak dan menstabilkan fluktuasi aliran limpasan.
- Draftik aliran menjadi lebih terkendali dan menunjukkan kemampuan infiltrasi yang berkelanjutan sepanjang waktu uji.
- Sistem bekerja secara hidrolik lebih efisien dalam menahan air hujan dan mengurangi beban limpasan langsung ke permukaan.

Tabel 5.13. menunjukkan bahwa keberadaan kotak infiltrasi dalam flume median mengurangi debit limpasan sebesar 30,476 %, yang merupakan capaian signifikan dalam konteks pengelolaan air limpasan di area terbatas median jalan.

Tabel 5.13. Debit Limpasan Tanpa dan Dengan Menggunakan Kotak Infiltrasi

Variasi	Debit Limpasan	
	L/detik	%
Tanpa Kotak	0,02669	70,70
Dengan Kotak	0,01856	49,15

Sumber Hasil perhitungan

Implikasi Hidrologis dan Infrastruktur

- Tanpa kotak infiltrasi, air hujan yang tertampung pada flume median langsung menjadi limpasan permukaan karena tidak adanya mekanisme infiltrasi. Hal ini berisiko mempercepat kejenuhan saluran drainase.
- Dengan kotak infiltrasi, sebagian besar air dialirkan ke dalam tanah melalui proses peresapan, mengurangi volume dan intensitas limpasan yang masuk ke sistem drainase.
- Flume median yang dilengkapi sistem infiltrasi dapat berfungsi ganda sebagai saluran dan area resapan, tanpa mengganggu fungsi lalu lintas maupun estetika jalan.

Kesimpulan Uji

- Penggunaan kotak infiltrasi pada flume median efektif dalam menurunkan debit limpasan hingga lebih dari 30,476 %.
- Solusi ini dapat diterapkan sebagai alternatif infrastruktur hijau (green infrastructure) untuk pengelolaan air hujan di kawasan perkotaan dengan keterbatasan lahan.
- Secara praktis, penggunaan median jalan sebagai elemen pengendali limpasan merupakan pendekatan efisien, adaptif, dan berkelanjutan untuk mendukung manajemen drainase berbasis ekosistem (nature-based solution).

5.5. UJI 4, Analisis Kombinasi Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan

Pengujian laboratorium dilakukan untuk menganalisis efektivitas infiltrasi air pada media resapan dengan kombinasi flume median dan flume drainase, serta pengaruh perangkat sistem drainase yang digunakan. Terdapat dua variasi aliran dan dua variasi sistem drainase yang diuji:

Variasi Aliran:

- Aliran 1: Air hanya dialirkan melalui flume median, mensimulasikan kondisi air hujan yang jatuh langsung ke area median jalan.
- Aliran 2: Air dialirkan melalui flume median dan flume drainase secara bersamaan, mensimulasikan kondisi beban aliran gabungan dari median dan permukaan jalan yang mengalir ke sistem resapan.

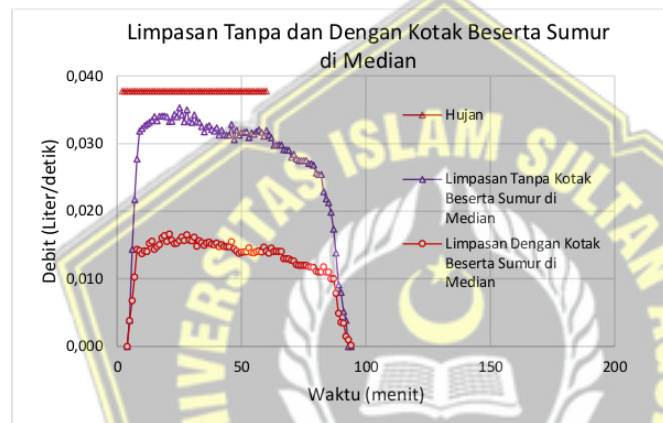
Variasi Sistem Drainase:

- Variasi 1: Tanpa menggunakan kotak infiltrasi dan sumur resapan, air hanya meresap langsung melalui permukaan tanah median.
- Variasi 2: Menggunakan kotak infiltrasi dan sumur resapan, yang dirancang untuk mempercepat dan memfokuskan aliran air agar meresap lebih dalam secara vertikal.

5.5.1. Aliran Dari Median Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi beserta Sumur Rerapan

Uji Limpasan Pada Flume Median

Uji laboratorium ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan limpasan permukaan yang terjadi pada aliran air dari median, dengan dua variasi sistem drainase, yaitu Tanpa kotak infiltrasi dan sumur resapan dan Dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan. Pengujian ini mensimulasikan kondisi nyata pada ruang terbuka jalan (median) saat menerima aliran air hujan, untuk menilai seberapa besar volume limpasan yang dapat dikendalikan oleh perangkat sistem drainase yang digunakan.



Gambar 5.9. Limpasan di Median, Tanpa dan Dengan Kotak dan Sumur

Pada Gambar 5.9, Grafik Limpasan Flume Median menunjukkan perbedaan yang cukup terlihat antara dua kondisi. Pada sistem tanpa kotak infiltrasi dan sumur resapan, limpasan mencapai nilai puncak 0,03314 L/detik dan bertahan cukup lama hingga penurunan di akhir pengujian. Sementara itu, pada sistem dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan, debit limpasan awal meningkat cepat namun hanya mencapai nilai maksimum sekitar 0,01659 L/detik, dan lebih cepat stabil pada nilai yang lebih rendah dibandingkan variasi tanpa kotak.

Tabel 5.14. Debit Limpasan Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Flume Median

Variasi	Debit Limpasan	
	L/detik	%
Tanpa Kotak dan Sumur	0,02705	71,64
Dengan Kotak dan Sumur	0,01280	33,86

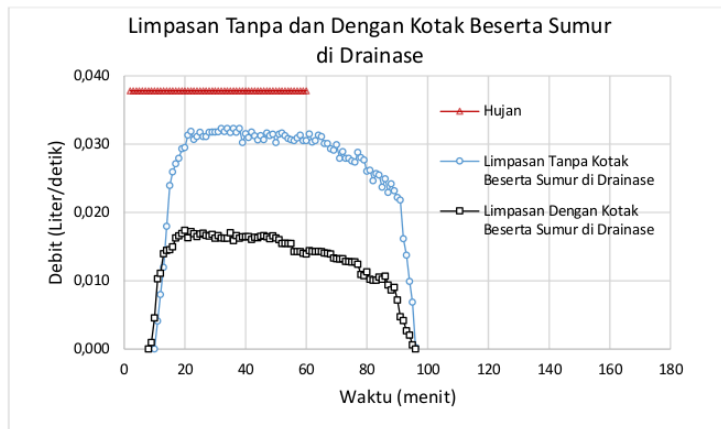
Sumber Hasil perhitungan

Hasil Analisis

- Pengaruh Perangkat Infiltrasi: Penggunaan kotak infiltrasi dan sumur resapan secara signifikan menurunkan jumlah air yang menjadi limpasan. Hal ini dibuktikan dengan penurunan debit limpasan dari 0,02705 L/detik menjadi 0,01280 L/detik, atau berkurang sekitar 52,69 %.
- Efisiensi Infiltrasi: Pada sistem tanpa perangkat infiltrasi, air yang tidak terserap menjadi limpasan permukaan yang tinggi (71,64 % dari total debit aliran). Sebaliknya, dengan penambahan kotak infiltrasi dan sumur resapan, limpasan turun menjadi hanya 33,86 %, menunjukkan bahwa lebih dari setengah air berhasil diserap ke dalam tanah.
- Manfaat dalam Sistem Drainase Perkotaan: Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi kotak infiltrasi dan sumur resapan dapat mengurangi beban aliran permukaan, mengurangi potensi genangan, dan meningkatkan kapasitas resapan lokal, sangat relevan untuk perencanaan sistem drainase ramah lingkungan (LID) di kawasan perkotaan.

Uji Limpasan Pada Flume Drainase

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi besarnya limpasan air pada flume drainase yang menerima aliran dari median, dengan dua kondisi sistem drainase, yaitu Tanpa menggunakan kotak infiltrasi dan sumur resapan dan Dengan menggunakan kotak infiltrasi dan sumur resapan. Aliran berasal dari air limpasan di median yang mengalir ke sisi drainase, sehingga pengujian ini meniru kondisi nyata saat hujan lebat di kawasan jalan dengan drainase terbuka atau tertutup.



Gambar 5.10. Limpasan di Drainase, Tanpa dan Dengan Kotak dan Sumur

Dari Gambar 5.10, terlihat bahwa pada variasi tanpa kotak infiltrasi, debit limpasan cepat mencapai nilai puncak sekitar 0,026 L/detik dan bertahan hampir konstan sepanjang durasi pengujian. Sebaliknya, pada sistem dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan, debit maksimum hanya sekitar 0,018 L/detik dan secara umum lebih rendah sepanjang waktu.

Tabel 5.15. Debit Limpasan Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Flume Drainase

Variasi	Debit Limpasan	
	L/detik	%
Tanpa Kotak dan Sumur	0,02567	67,99
Dengan Kotak dan Sumur	0,01399	37,01

Sumber Hasil perhitungan

Hasil Analisis

- Reduksi Limpasan:

Penggunaan kotak infiltrasi dan sumur resapan dapat menurunkan limpasan dari 0,02567 L/detik menjadi 0,01399 L/detik, atau sekitar penurunan 45,51 %. Ini menunjukkan adanya peningkatan efisiensi sistem drainase dalam menampung dan meresapkan air sebelum menjadi aliran permukaan.

- Efisiensi Sistem Infiltrasi:

Dengan kotak dan sumur resapan, jumlah air yang mampu diserap lebih besar. Persentase limpasan turun dari 67,99 % menjadi 37,01 %, yang berarti lebih banyak air ditangani secara lokal melalui proses infiltrasi alami.

- Relevansi Lapangan:

Hasil ini mendukung penerapan sistem drainase berkelanjutan (LID) terutama di kawasan perkotaan, dengan manfaat mengurangi beban saluran drainase, memperkecil risiko genangan, serta meningkatkan cadangan air tanah.

5.5.2. Aliran Dari Median dan Drainase Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi beserta Sumur Rerapan

Uji Limpasan Pada Flume Median

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas sistem infiltrasi dalam mengurangi limpasan gabungan yang berasal dari flume median dan drainase. Terdapat dua kondisi yang diuji yaitu, Tanpa kotak infiltrasi dan sumur resapan dan Dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan. Simulasi ini mewakili kondisi aktual di mana air hujan mengalir dari area median dan drainase jalan menuju sistem pembuangan, serta mengevaluasi sejauh mana sistem infiltrasi mampu mengurangi beban limpasan.

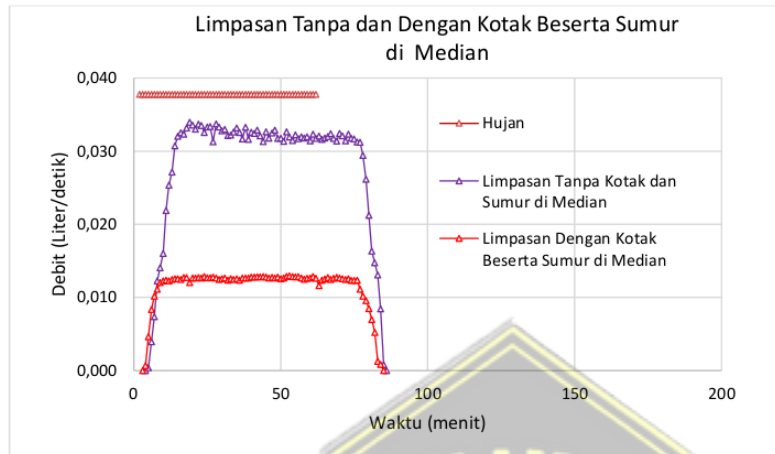
Tabel 5.16. Debit Limpasan Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Flume Median

Variasi	Debit Limpasan	
	L/detik	%
Tanpa Kotak dan Sumur	0,02870	75,92
Dengan Kotak dan Sumur	0,01166	30,85

Sumber Hasil perhitungan

Pada Gambar 5.11, Grafik Limpasan Gabungan dari Median dan Drainase menunjukkan perbedaan mencolok antara dua kondisi. Pada sistem tanpa kotak dan sumur, limpasan cepat mencapai puncak sekitar 0,0321 L/detik dan bertahan stabil

sepanjang pengujian. Sedangkan sistem dengan kotak dan sumur menghasilkan puncak limpasan jauh lebih rendah, sekitar 0,0103 L/detik, dan secara keseluruhan lebih landai.



Gambar 5.11. Limpasan di Median, Tanpa dan Dengan Kotak dan Sumur

Hasil Analisis

- Efektivitas Sistem Infiltrasi Gabungan:

Sistem dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan berhasil menurunkan debit limpasan dari 0,02870 L/detik menjadi 0,01166 L/detik, atau berkurang sebesar 59,37 %.

- Persentase Limpasan:

Tanpa sistem infiltrasi, sekitar 75,92 % dari air hujan menjadi limpasan. Dengan sistem infiltrasi, angka ini turun drastis menjadi 30,85 %, menunjukkan kemampuan sistem dalam meresapkan air secara signifikan.

- Peran Infrastruktur Infiltrasi:

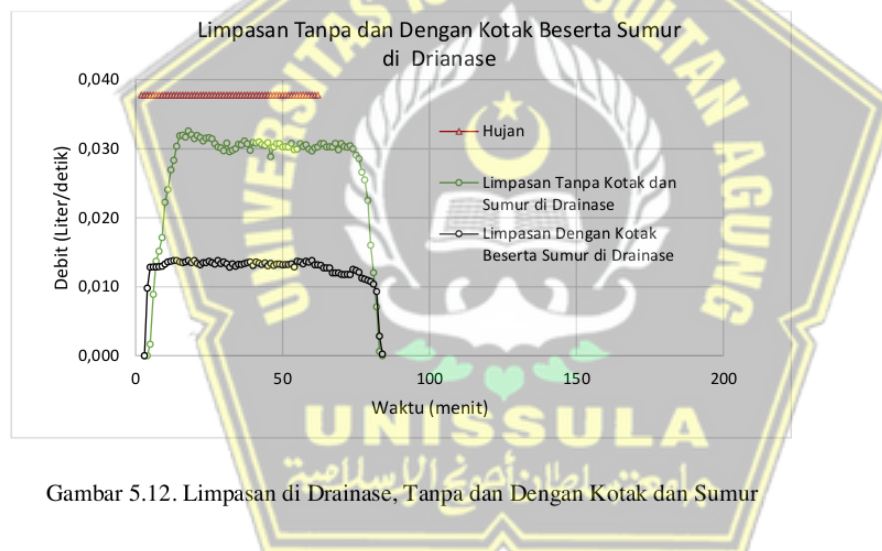
Kombinasi kotak infiltrasi dan sumur resapan berperan besar dalam mengontrol laju limpasan dan memberikan waktu retensi yang lebih lama untuk air masuk ke dalam tanah, mengurangi beban sistem drainase konvensional.

- Relevansi Praktis:

Dalam konteks perencanaan jalan dan kawasan perkotaan, penerapan sistem ini sangat direkomendasikan untuk meningkatkan resapan air, mencegah genangan, dan mendukung pengelolaan air hujan berkelanjutan (LID).

Uji Limpasan Pada Flume Drainase

Pengujian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh sistem infiltrasi (kotak infiltrasi dan sumur resapan) terhadap limpasan yang terjadi akibat aliran gabungan dari median dan saluran drainase. Tujuannya adalah untuk membandingkan besarnya debit limpasan yang terjadi pada dua kondisi utama, yaitu Tanpa kotak infiltrasi dan sumur resapan dan Dengan kotak infiltrasi dan sumur resapan, Simulasi ini mewakili kondisi aktual limpasan air hujan yang dialirkan dari kawasan jalan ke sistem drainase.



Gambar 5.12. Limpasan di Drainase, Tanpa dan Dengan Kotak dan Sumur

Pada Gambar 5.12, Grafik Limpasan pada Flume Drainase menunjukkan bahwa kondisi tanpa sistem infiltrasi menghasilkan debit limpasan lebih tinggi, mencapai nilai puncak mendekati 0,027 L/detik, yang berlangsung relatif stabil hingga akhir waktu pengamatan. Sebaliknya, penggunaan kotak infiltrasi dan sumur

menyebabkan debit limpasan maksimal hanya sekitar 0,014 L/detik, dan menunjukkan pola lebih stabil serta menurun lebih cepat di akhir simulasi.

Tabel 5.17. Debit Limpasan Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi dan Sumur Flume Drainase

Variasi	Debit Limpasan	
	L/detik	%
Tanpa Kotak dan Sumur	0,02709	71,66
Dengan Kotak dan Sumur	0,01314	34,76

Sumber Hasil perhitungan

Hasil Analisis

- Efektivitas Sistem Infiltrasi:

Penggunaan kotak infiltrasi dan sumur resapan berhasil menurunkan debit limpasan sebesar 51,50% dari 0,02709 menjadi 0,01314 L/detik. Ini menunjukkan bahwa sistem infiltrasi berfungsi dengan baik dalam menahan dan meresapkan air hujan ke dalam tanah sebelum masuk ke drainase.

- Persentase Limpasan:

Tanpa sistem infiltrasi, limpasan menyumbang 71,66% dari total volume air. Dengan sistem infiltrasi, kontribusi limpasan menurun drastis menjadi 34,76%. Hal ini menandakan bahwa hampir separuh volume air hujan berhasil ditahan dan direduksi sebelum mencapai saluran drainase.

- Manfaat Infrastruktur Infiltrasi:

Penggunaan sistem infiltrasi membantu mengurangi beban aliran permukaan menuju drainase, menurunkan risiko genangan, dan memperbesar potensi peresapan air ke tanah.

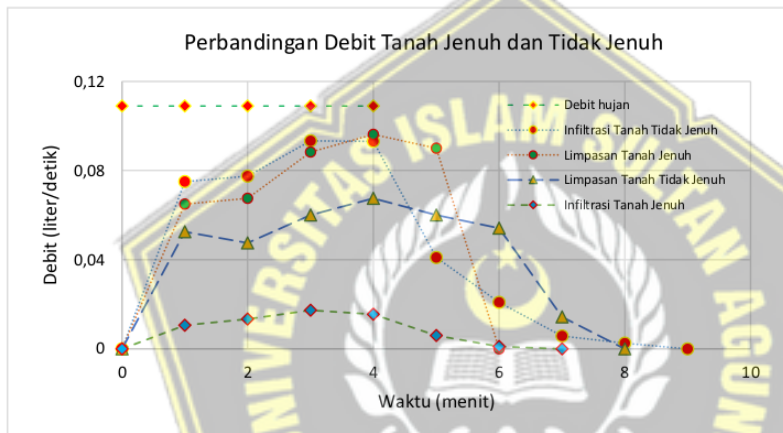
- Kesimpulan Praktis:

Penerapan kotak infiltrasi dan sumur resapan pada sistem drainase jalan terbukti mampu mengendalikan debit puncak dan total limpasan secara signifikan, menjadikannya solusi efektif untuk sistem drainase berkelanjutan.

5.6. Perbandingan Debit

5.6.1. Uji Ke 1 Kotak Infiltrasi Sederhana

Perbandingan Debit Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh Pada Uji Model Kotak Infiltrasi Sederhana. Grafik menunjukkan variasi debit terhadap waktu (dalam menit) untuk tiga parameter utama, yaitu Debit Hujan (Inflow), Limpasan (Runoff) pada kondisi tanah jenuh dan tidak jenuh dan Infiltrasi pada kondisi tanah jenuh dan tidak jenuh. Analisis Grafik, menunjukkan, Debit Hujan (Inflow) relatif konstan sekitar 0,109 L/detik selama 4 menit, kemudian menurun setelah menit ke-5. Hal ini mencerminkan fase hujan intensif dan kemudian mereda, seperti pada simulasi hujan singkat berdurasi 5–6 menit.



Gambar 5.13. Perbandingan Debit Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh

Limpasan tanah jenuh, mulai terjadi sangat cepat dan mencapai puncaknya di menit ke-3 hingga ke-4, Nilai limpasan lebih tinggi dibandingkan tanah tidak jenuh sepanjang waktu pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa tanah sudah tidak mampu lagi menyerap air (kapasitas infiltrasi jenuh tercapai), sehingga hampir seluruh hujan menjadi limpasan. Sedangkan Tanah tidak jenuh, limpasan lebih rendah dan terjadi lebih lambat dibandingkan tanah jenuh. Hal ini menunjukkan bahwa pada awal hujan, tanah masih mampu menyerap sebagian besar air hujan.

Infiltrasi tanah tidak jenuh, Memiliki infiltrasi yang tinggi di awal hujan (hingga 0,06 L/detik), menurun seiring waktu karena kejenuhan bertahap, menunjukkan bahwa tanah yang tidak jenuh lebih efektif menyerap air pada awal kejadian hujan. Sedangkan tanah jenuh, Kapasitas infiltrasi terbatas sejak awal (sekitar 0,02–0,03 L/detik), konsisten dengan kondisi tanah yang sudah penuh air.

Hasil Analisis Uji ke 1

- Kondisi tanah sangat mempengaruhi pola limpasan dan infiltrasi.
 - Tanah jenuh menghasilkan limpasan yang tinggi dan cepat, sehingga mempercepat risiko banjir.
 - Tanah tidak jenuh lebih efektif dalam mereduksi limpasan, karena memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih besar di awal hujan.
- Model ini memperlihatkan bahwa penggunaan kotak infiltrasi sangat efektif jika tanah dalam kondisi tidak jenuh.
- Oleh karena itu, penting untuk mengatur sistem infiltrasi agar air hujan masuk ke dalam tanah sebelum kondisi jenuh tercapai. ***Bisa digunakan pradesain kotak infiltrasi dan sumur resapan untuk daerah urban.***

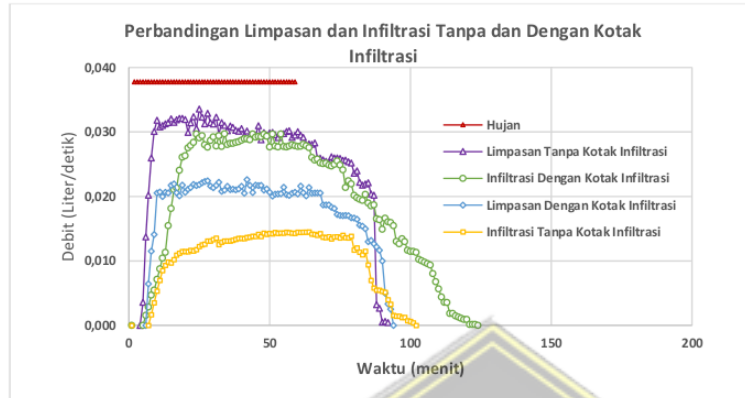
5.6.2. Uji Ke 2 Kotak Infiltrasi di Median Jalan

Grafik menunjukkan perbandingan antara, debit hujan, debit limpasan sebelum dan sesudah pemasangan kotak dan sumur. Debit infiltrasi sebelum dan sesudah pemasangan kotak dan sumur

Limpasan Awal (sebelum kotak), Puncak limpasan mencapai 0,0335 L/detik, menandakan bahwa sebagian besar air permukaan langsung mengalir sebagai limpasan. Sedangkan Limpasan Sesudah (setelah pemasangan kotak), Berkurang signifikan dengan puncaknya hanya sekitar 0,023 L/detik, dan durasinya juga lebih pendek. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar air tertahan dan masuk ke tanah melalui sistem infiltrasi.

Infiltrasi Awal rendah dan stabil di kisaran 0,012–0,014 L/detik, menandakan tanah sebelumnya memiliki kemampuan terbatas dalam menyerap air. Sedangkan infiltrasi sesudah mengalami peningkatan yang signifikan, mencapai

0,029 L/detik, dan durasi infiltrasi juga lebih panjang. Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi kotak dan sumur meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah secara nyata.



Gambar 5.14. Perbandingan Debit di Median Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur

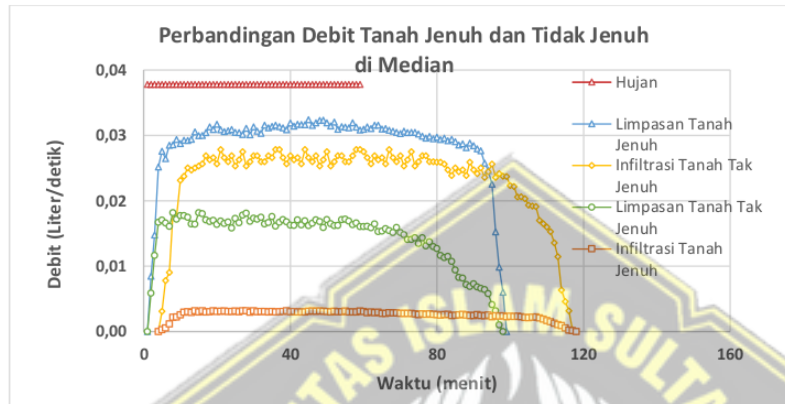
Efektivitas Kotak Infiltrasi, bahwa sistem menurunkan limpasan sekitar 30,47 %, dan meningkatkan debit infiltrasi 74,75 %, efek ini menunjukkan kinerja hidrologis sistem lebih efisien dalam meresapkan air hujan ke dalam tanah, sekaligus memperpanjang durasi infiltrasi pascahujan.

Hasil Analisis Uji

- Pemasangan kotak infiltrasi di median jalan sangat efektif mengurangi limpasan dan meningkatkan infiltrasi, terutama dalam durasi hujan yang panjang.
- Sistem ini berpotensi mengurangi risiko banjir secara signifikan, khususnya saat menghadapi hujan intensitas tinggi.
- Hasil uji menunjukkan bahwa strategi pengelolaan air hujan berbasis resapan lokal dapat diandalkan untuk perencanaan drainase berkelanjutan di wilayah perkotaan seperti Cirebon.

5.6.3. Uji ke 3, Eksisting Aliran di Median Jalan Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh

Pada Model Median, Berikut adalah hasil analisis Uji Ke-2: Kotak Infiltrasi di Median Jalan berdasarkan grafik Perbandingan Debit Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh di Median.



Gambar 5.15 Perbandingan Debit Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh di Median

Limpasan Tanah Jenuh, sangat cepat terbentuk dan nilainya cukup besar 0,0324 L/detik. Tetap tinggi hingga hujan berhenti, menandakan bahwa air meresap sangat kecil ke dalam tanah karena tanah sudah dalam kondisi jenuh sejak awal. Hal ini mencerminkan kapasitas retensi median yang sangat rendah dalam kondisi jenuh. Sedangkan Tanah Tidak Jenuh, Limpasan lebih rendah 0,0182 L/detik) dan terbentuk lebih lambat dibanding tanah jenuh, hal ini menunjukkan bahwa pada awalnya air masih bisa meresap dengan baik ke dalam tanah median, sehingga limpasan tertunda dan lebih kecil.

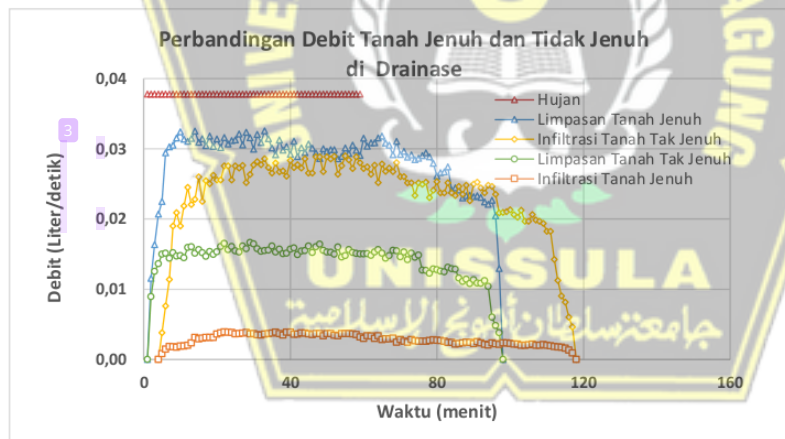
Infiltrasi Tanah Tidak Jenuh, cukup tinggi 0,0182 L/detik dan stabil sepanjang durasi hujan. Hal ini menunjukkan bahwa kotak infiltrasi efektif menyalurkan air ke tanah selama belum mencapai kondisi jenuh. Sedangkan Tanah Jenuh, Infiltrasi rendah 0,0106 L/detik dan tetap kecil selama waktu pengamatan.

Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada kotak infiltrasi, kapasitas tanah jenuh untuk menerima air sangat terbatas, sehingga air lebih banyak menjadi limpasan.

Hasil Analisis Uji Pada Model Median

- Efektivitas kotak infiltrasi sangat bergantung pada kondisi kejenuhan tanah.
- Pada tanah tidak jenuh, kotak infiltrasi di median jalan mampu:
 - Mengurangi limpasan hingga hampir setengahnya.
 - Meningkatkan volume air yang meresap ke dalam tanah (infiltrasi tinggi dan konsisten).
- Pada tanah jenuh, kotak infiltrasi tidak mampu bekerja optimal, dan limpasan tetap tinggi.
- Ini menegaskan bahwa waktu kejadian hujan (terutama durasi sebelumnya) dan desain sistem infiltrasi berlapis (*penambahan sumur resapan*) perlu diperhatikan untuk efektivitas maksimal.

Pada Model Drainase, Grafik menunjukkan perbandingan debit hujan, limpasan (runoff), dan infiltrasi antara kondisi tanah jenuh dan tidak jenuh terhadap waktu selama 0–120 menit. Debit dinyatakan dalam liter/detik.



Gambar 5.16. Perbandingan Debit Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh di Drainase

Limpasan tanah jenuh, Naik di awal hingga 0,0305 L/detik (menit ke-8). Tetap tinggi dan stabil 0,027–0,0325 L/detik sampai menit ke-33. Menurun cepat setelah hujan berhenti, Infiltrasi tanah jenuh, rendah dan stabil di 0,011–0,014 L/detik. Hal ini menunjukkan tanah kemampuan menyerap air kecil pada kondisi jenuh. Limpasan tinggi, infiltrasi rendah adalah potensi besar untuk banjir lokal dan genangan di median jalan.

Limpasan tanah tidak jenuh, Cenderung lebih rendah dibandingkan tanah jenuh, di kisaran 0,015–0,020 L/detik. Menunjukkan kemampuan retensi air lebih baik. Infiltrasi tanah tidak jenuh, lebih tinggi dari tanah jenuh, mencapai 0,035 L/detik saat puncaknya. Menurun perlahan setelah hujan berhenti. Pada tanah tidak jenuh, Limpasan lebih rendah, infiltrasi lebih tinggi sehingga efektif mengurangi beban drainase, meminimalkan banjir

Desain Drainase Median Jalan pada tanah jenuh membutuhkan kapasitas lebih besar atau kombinasi sistem infiltrasi tambahan (Kotak Infiltrasi dan Sumur Resapan). Kondisi tanah tidak jenuh lebih ideal untuk sistem resapan sehingga dapat memperlambat aliran permukaan dan menambah cadangan air tanah.

Hasil Analisis Uji Pada Model Drainase

- Pemasangan kotak infiltrasi di median jalan mampu mengurangi limpasan secara signifikan, terutama pada tanah tidak jenuh.
- Sistem ini memberikan manfaat paling besar di awal kejadian hujan ekstrem dan membantu mengurangi beban sistem drainase kota.
- Kombinasi strategi ini penting untuk diterapkan dalam pengelolaan air hujan guna mengatasi masalah banjir perkotaan, seperti yang terjadi di Cirebon.

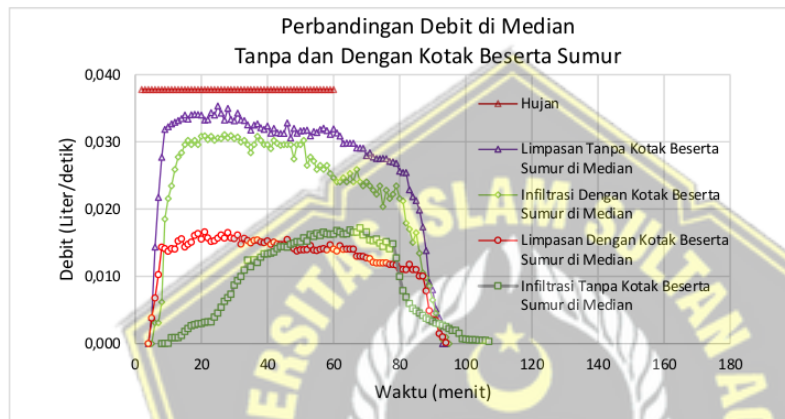
5.6.4. Uji ke 4 Kombinasi Aliran dari Median dan Drainase

Aliran dari Drainase, Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi beserta Sumur

Pada Gambar 5.17, Perbandingan Debit di Median Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur, Limpasan Awal di Median (Tanpa Kotak dan Sumur) mempunyai limpasan yang cukup tinggi, dengan puncak mendekati 0,033

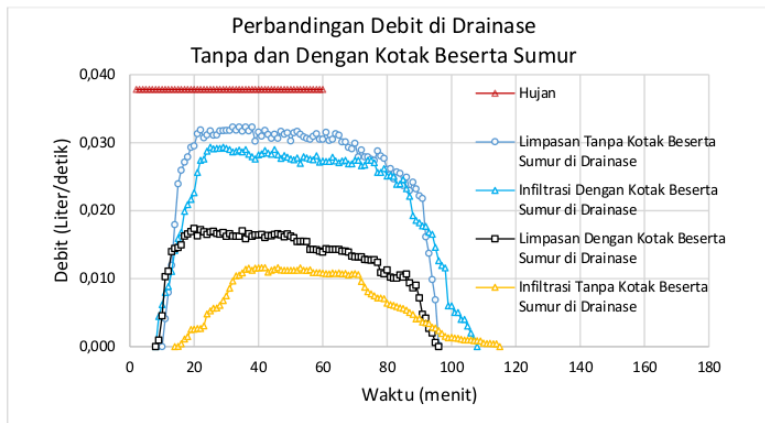
liter/detik.. Sedangkan Limpasan Akhir di Median (Dengan Kotak dan Sumur): Terjadi penurunan signifikan pada limpasan, puncak hanya sekitar 0,017 liter/detik. Hal ini menunjukkan efektivitas kombinasi kotak infiltrasi dan sumur dalam mereduksi limpasan permukaan.

Infiltrasi Awal di Median, cukup rendah, Infiltrasi Akhir di Median, menunjukkan peningkatan drastis baik dalam debit maupun durasi, menandakan perbaikan kemampuan tanah untuk menyerap air setelah penambahan sistem infiltrasi.



Gambar 5.17. Perbandingan Debit di Median Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur (Aliran dari Median)

Pada Gambar 5.18, Perbandingan Debit di Drainase Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur, Limpasan Awal di Drainase, Cukup tinggi, mendekati 0,035 liter/detik. Limpasan Akhir di Drainase mengalami penurunan menjadi di bawah 0,02 liter/detik, menunjukkan bahwa air hujan lebih banyak diserap atau dialihkan sebelum masuk ke saluran drainase. Sedangkan Infiltrasi Awal di Drainase rendah. Infiltrasi Akhir di Drainase, mengalami peningkatan yang cukup signifikan dan bertahan lebih lama, yang berarti sistem sumur resapan dan kotak infiltrasi meningkatkan efisiensi serapan air.



Gambar 5.18. Perbandingan Debit di Drainase Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur (Aliran dari Median dan Drainase)

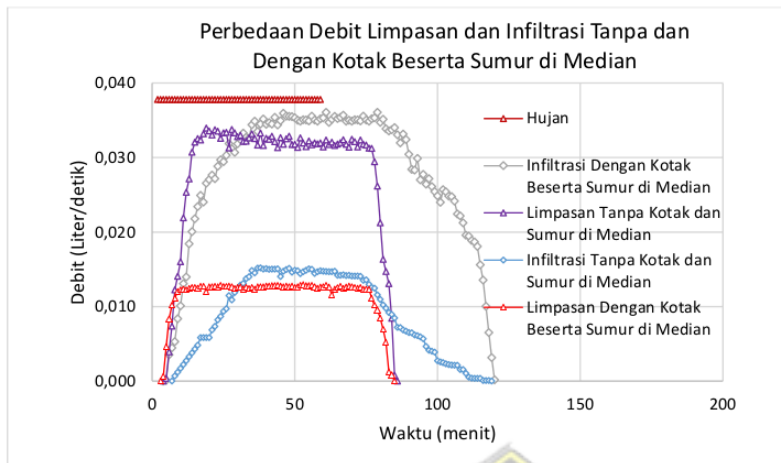
Hasil Analisis

- Kombinasi kotak infiltrasi dan sumur resapan sangat efektif, untuk mengurangi puncak debit limpasan hingga hampir 45,51 %, meningkatkan volume dan durasi infiltrasi secara signifikan.
- Respon limpasan lebih landai dan lebih cepat turun, yang mengurangi risiko genangan dan banjir di area median maupun saluran drainase.

Dengan data ini, sistem kombinasi sangat layak untuk diterapkan pada area perkotaan yang rawan genangan, seperti di Kota Cirebon, karena mampu menahan dan mengatur aliran air secara lebih baik dibandingkan sistem konvensional.

Aliran dari Median Drainase, Tanpa dan Dengan Kotak Infiltrasi beserta Sumur

Limpasan Awal di Median, Limpasan meningkat tajam dan mencapai puncak sekitar 0,032 L/detik dalam waktu cepat (18 menit), menandakan bahwa pada kondisi awal (tanpa kotak/sumur), air hujan langsung menjadi limpasan. Debit limpasan cenderung stabil setelah puncak, lalu menurun setelah hujan berhenti.



Gambar 5.19 Perbandingan Debit di Median Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur (Aliran dari Median dan Drainase)

Infiltrasi Awal di Median, Pada awalnya, debit infiltrasi meningkat lambat, lalu meningkat secara progresif hingga mendekati puncak hujan. Puncak debit infiltrasi terjadi mendekati waktu hujan berhenti, kemudian perlahan-lahan menurun, menunjukkan proses infiltrasi masih terjadi bahkan setelah hujan berhenti. Sedangkan Infiltrasi Akhir di Median, Debit infiltrasi lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan saat awal. Debit puncaknya melebihi kondisi awal, menunjukkan peningkatan kapasitas infiltrasi akibat kehadiran kotak dan sumur resapan. Waktu penurunan debit juga lebih panjang, menunjukkan efek penundaan dan retensi air.

Limpasan Akhir di Median, Debit limpasan akhir jauh lebih rendah dibandingkan limpasan awal. Nilai maksimum hanya sekitar 0,01166 L/detik, turun signifikan dari kondisi awal 0,02870 L/detik. Kurva datar menunjukkan bahwa sistem kotak dan sumur menahan dan mengatur aliran dengan baik, mengurangi beban langsung ke sistem drainase.

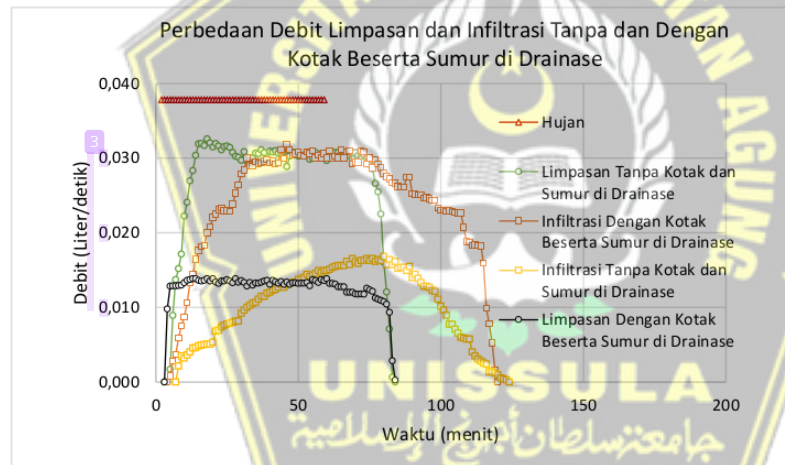
Hasil Analisis

- Reduksi Limpasan sangat signifikan, dari 0,02870 L/detik menjadi 0,01166 L/detik, yaitu sekitar 59,37%.

- Peningkatan Infiltrasi juga terlihat dari debit infiltrasi yang lebih tinggi dan durasi yang lebih panjang.

Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kotak dan sumur resapan di median jalan efektif meningkatkan infiltrasi dan menurunkan limpasan permukaan, yang sangat penting untuk mitigasi banjir lokal.

Pada gambar 5.20. limpasan awal di drainase, debit limpasan meningkat tajam dan mencapai puncak sekitar 0,028 L/detik, kemudian stabil hingga akhir hujan. Setelah hujan berhenti, debit turun drastis. Ini menunjukkan bahwa sebelum ada intervensi (kotak dan sumur), sebagian besar air langsung menjadi limpasan permukaan. Sedangkan Limpasan Akhir di Drainase, Debit limpasan akhir mengalami penurunan signifikan dibandingkan dengan awal. Nilai maksimumnya hanya sekitar 0,0134 L/detik, menunjukkan penurunan sekitar 51,50% dari kondisi awal, yang mengindikasikan efektivitas sistem kotak dan sumur dalam mereduksi aliran permukaan.



Gambar 5.20. Perbandingan Debit di Drainase Tanpa dan Dengan Kotak Beserta Sumur

Infiltrasi Awal di Drainase menunjukkan kenaikan yang lambat hingga mencapai puncak sekitar 0,014 L/detik, terlihat bahwa infiltrasi tetap terjadi tetapi

terbatas, menunjukkan kapasitas serapan awal drainase yang kurang optimal. Sedangkan Infiltrasi Akhir di Drainase, Debit infiltrasi akhir meningkat signifikan hingga 0,024–0,029 L/detik, jauh lebih besar dibandingkan awal. Grafik yang lebih lebar dan menurun perlahan menunjukkan retensi air yang lebih baik dan kapasitas infiltrasi yang jauh lebih optimal berkat intervensi sistem.

Hasil Analisis

- Reduksi Limpasan: Terjadi penurunan dari 0,02709 L/detik menjadi 0,01314 L/detik sehingga penurunan sekitar 51,50%.
- Peningkatan Infiltrasi: Terjadi peningkatan hampir dua kali lipat, dari 0,01045 ke 0,0235 L/detik.

Durasi Infiltrasi lebih panjang dan stabil sehingga menunjukkan bahwa sumur dan kotak mampu menahan air lebih lama, memperbesar peluang infiltrasi dan menurunkan beban sistem drainase.

5.7. Analisis Reduksi run off dengan dan tanpa kotak dan sumur resapan

Reduksi limpasan adalah parameter penting dalam mengevaluasi efektivitas sistem infiltrasi kotak infiltrasi dan sumur resapan dalam menurunkan volume air limpasan permukaan. Dari hasil perhitungan, terdapat lima jenis pengujian yang masing-masing menunjukkan besaran persentase reduksi limpasan yang berbeda. Analisis berikut merinci efektivitas dari setiap skenario uji:

Tabel 5.18. Reduksi run off

Uji	Reduksi Limpasan	
	Tanah Jenuh DAN Tanah Tidak Jenuh	Tanpa DAN Dengan Kotak Infiltrasi
	%	%
Kotak Infiltrasi Sederhana	37,469	
Kotak Infiltrasi di Median Jalan		30,476
Eksisting Aliran di Median dan Saluran Tepi	Median = 50,049 Drainase = 50,074	
Aliran dari Median Kombinasi Kotak dan Sumur		Median = 52,687 Drainase = 45,510
Aliran dari Median dan Drainase, Kombinasi Kotak dan Sumur		Median = 59,367 Drainase = 51,495

Sumber Hasil perhitungan

1. Kotak Infiltrasi Sederhana (Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh)

Reduksi limpasan: 37,47%

Analisis:

Uji ini menunjukkan bahwa pada kondisi tanah yang mengalami kejenuhan maupun tidak jenuh, kotak infiltrasi sederhana mampu mereduksi limpasan sebesar 37,47%. Hal ini menandakan bahwa keberadaan kotak infiltrasi cukup efektif meskipun tanpa sistem pendukung tambahan seperti sumur resapan. Efektivitas ini tergantung juga pada kondisi tanah, di mana tanah tidak jenuh memiliki kapasitas infiltrasi lebih besar dibandingkan tanah jenuh.

2. Kotak Infiltrasi di Median Jalan (Sebelum dan Sesudah Pemasangan)

Reduksi limpasan: 30,476%

Analisis:

Pemasangan kotak infiltrasi di median jalan memberikan kontribusi dalam menurunkan limpasan sebesar 30,476%. Nilai ini lebih rendah dibandingkan kotak infiltrasi sederhana, disebabkan oleh aliran air masuk ke drainase terlebih dahulu sebelum masuk ke median jalan. Pada flume drainase penurunan limpasan 27,26% lebih besar dari median.

3. Eksisting Aliran di Median dan Saluran Tepi (Tanah Jenuh dan Tidak Jenuh)

Reduksi limpasan: 24,22%

Analisis:

Pada kondisi eksisting tanpa sistem infiltrasi tambahan, sistem drainase median dan saluran tepi masih memberikan kontribusi dalam mengurangi limpasan. Reduksi median 50,049 % , sedangkan drainase 50,074 % berasal dari kondisi alami (baik jenuh maupun tidak jenuh), namun hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas infiltrasi masih terbatas tanpa intervensi teknologi seperti kotak atau sumur resapan.

4. Aliran dari Median – Kombinasi Kotak dan Sumur Resapan

Reduksi limpasan di Median : 52,687%

Reduksi limpasan di Drainasi : 45,510%

Analisis:

Kombinasi antara kotak infiltrasi dan sumur resapan pada aliran dari median menunjukkan peningkatan yang sangat baik dalam pengurangan limpasan. Reduksi mencapai 52,687 %, yang menunjukkan bahwa sinergi antara kedua perangkat infiltrasi ini sangat efektif. Sistem ini mampu meningkatkan kapasitas tampungan dan mempercepat peresapan air ke dalam tanah.

5. Aliran dari Median dan Drainase – Kombinasi Kotak dan Sumur Resapan

Reduksi limpasan di Median : 59,367%

Reduksi limpasan di Drainasi : 51,495%

Analisis:

Ini merupakan skenario paling efektif di antara semua uji. Dengan melibatkan dua jalur aliran (median dan drainase) serta pemasangan kotak dan sumur resapan, limpasan dapat dikurangi lebih dari setengahnya (59,367%). Kombinasi area tangkapan dan sistem infiltrasi yang optimal memberikan distribusi aliran yang merata dan memperbesar kapasitas serapan air.

Secara keseluruhan, hasil perhitungan menunjukkan bahwa penggunaan kotak infiltrasi saja dapat mengurangi limpasan secara berlebihan di permukaan tanah, namun efektivitasnya meningkat secara drastis saat dikombinasikan dengan sumur resapan. Penambahan jalur aliran dari drainase ke dalam sistem juga terbukti meningkatkan performa secara keseluruhan. Strategi pengelolaan limpasan permukaan sebaiknya mengintegrasikan beberapa perangkat sekaligus agar didapat hasil maksimal dalam pengurangan risiko genangan dan peningkatan daya serap air tanah.

5.8. Kalibrasi Horton

Metode Horton merupakan salah satu metode empiris yang digunakan untuk memodelkan laju infiltrasi air ke dalam tanah selama peristiwa hujan. Pengujian menggunakan metode Horton bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat air hujan meresap ke dalam tanah dan berapa banyak yang menjadi limpasan (runoff).

Kalibrasi model Horton adalah proses penyesuaian parameter-parameter dalam rumus infiltrasi Horton agar hasil simulasi laju infiltrasi mendekati data observasi atau pengukuran di lapangan. Model Horton digunakan untuk menggambarkan penurunan laju infiltrasi seiring waktu selama suatu peristiwa hujan.

Kalibrasi bertujuan untuk menemukan kombinasi nilai f_o , f_c dan k yang membuat hasil perhitungan model Horton mendekati hasil pengukuran infiltrasi atau limpasan aktual, sehingga model bisa digunakan untuk prediksi yang lebih akurat. Untuk melakukan kalibrasi model Horton, ada beberapa data yang diperlukan, diantaranya Curah hujan (R): dalam mm atau L/detik, Debit limpasan (Q): volume air yang tidak meresap dalam L/detik, Luas area uji (A): dalam m², Durasi hujan (T): dalam detik atau jam, Debit infiltrasi aktual (I): bisa diperoleh dari selisih R dan Q per waktu dan Waktu pengamatan (t): dalam menit.

Untuk melakukan kalibrasi model Horton terhadap data limpasan pengamatan, di coba beberapa kombinasi nilai parameter infiltrasi awal (f_o), infiltrasi konstan (f_c), dan konstanta infiltrasi (k) secara iteratif, agar parameter-parameter dalam model Horton mencerminkan kondisi nyata di lapangan sehingga hasil simulasi (laju infiltrasi dan limpasan) sesuai dengan data pengukuran. Tujuannya adalah untuk meningkatkan NSE dan menurunkan RE dan RMSE.

Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), adalah ukuran yang digunakan untuk menilai kinerja suatu model hidrologi dalam merepresentasikan data observasi. NSE membandingkan kesesuaian antara hasil simulasi dan data pengamatan (observasi).

Relative Error (RE), RE adalah rasio antara selisih nilai hasil simulasi dan hasil pengamatan terhadap nilai hasil pengamatan. RE digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan relatif antara hasil simulasi dan hasil observasi.

Root Mean Square Error (RMSE), RMSE adalah akar kuadrat dari rata-rata selisih kuadrat antara nilai hasil simulasi dan nilai hasil pengamatan. RMSE memberikan gambaran seberapa besar error rata-rata yang terjadi dalam hasil simulasi.

Berikut pendekatan yang bisa lakukan:

Langkah Kalibrasi

1. Hitung debit limpasan hasil simulasi menggunakan persamaan Horton

$$f_{(t)} = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$$

2. Kalibrasi Parameter

- Coba beberapa nilai untuk f_o , f_c , dan k dalam rentang yang wajar.
- Lakukan iterasi untuk mencari kombinasi yang menghasilkan NSE tertinggi dan RE serta RMSE terkecil.

3. Evaluasi hasil dengan kriteria statistik

➤ **NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency):**

NSE mengukur seberapa baik model memprediksi dibandingkan dengan rata-rata data pengukuran

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i})^2}$$

Interpretasi NSE:

- $NSE = 1$ → Model sempurna
- $NSE > 0.75$ → Model sangat baik
- $0.50 \leq NSE < 0.75$ → Model cukup baik
- $0 \leq NSE < 0.50$ → Model buruk
- $NSE < 0$ → Model lebih buruk daripada rata-rata data

➤ **RE (Relative Error)**

RE mengukur seberapa besar kesalahan model relatif terhadap nilai pengukuran

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_{obs,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i})^2}$$

Interpretasi RE:

- $RE < 10\%$ → Model sangat baik
- $10\% \leq RE < 20\%$ → Model baik
- $20\% \leq RE < 30\%$ → Model cukup baik

- $RE \geq 30\%$ → Model buruk

➤ **RMSE (Root Mean Square Error)**

RMSE mengukur rata-rata kesalahan model dalam satuan yang sama dengan data

$$RMSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_{obs,i})^2}{n}$$

Interpretasi RMSE:

- Semakin kecil RMSE, mendekati 0 semakin baik modelnya
- RMSE yang kecil menunjukkan kesalahan prediksi rendah

Rentang Nilai Parameter yang akan dicoba:

$f_0 = 0,10 - 0,20$ m/jam (hasil sebelumnya 0,1224 m/jam)

$f_c = 0,03 - 0,07$ m/jam (hasil sebelumnya 0,0463 m/jam)

$k = 1,0 - 4,0$ (hasil sebelumnya 2,4199)

Hasil kalibrasi terbaik dengan kombinasi parameter model Horton:

Laju infiltrasi awal (f_0) = 0,01272 m/jam

Laju infiltrasi konstan (f_c) = 0,02492 m/jam

Konstanta infiltrasi (k) = 3,24

RMSE (Root Mean Square Error): 0.00525

Evaluasi model:

- $NSE = 0,923$ menunjukkan bahwa model sangat baik dalam merepresentasikan data pengukuran
- $RE = 4,32\%$, berarti model memiliki kesalahan relatif yang kecil dan cukup akurat.
- $RMSE = 0,00525$ m/jam, menunjukkan bahwa kesalahan model kecil

Tabel 5.19. Hasil Perhitungan

Metrik	Hasil Perhitungan	Interpretasi
NSE	0,923	Model Sangat Baik
RMSE	0,00525 m/jam	Kesalahan Kecil
RE	4,32%	Akurasi Tinggi

Sumber : Perhitungan

5.9. Hasil Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi model Horton yang telah dikalibrasi dengan data pengukuran yang tidak digunakan dalam proses fitting. Tujuan validasi adalah untuk memastikan bahwa model tetap akurat saat diterapkan pada data baru.

Berikut adalah perbandingan antara hasil kalibrasi dan validasi berdasarkan tiga metrik utama: NSE, RMSE, dan RE.

Tabel 5.20. Perbandingan Data Kalibrasi dan Data Validasi

Metrik	Hasil Kalibrasi	Hasil Validasi	Interpretasi
NSE	0,923	0,901	Model tetap sangat baik dalam validasi, dengan sedikit penurunan akurasi.
RMSE	0,00525 m/jam	0,0061 m/jam	Kesalahan tetap kecil, menunjukkan model masih akurat untuk data baru.
RE	4,32%	5,21%	Akurasi model masih tinggi, meskipun terjadi sedikit peningkatan error.

Sumber : Perhitungan

Analisis Perbandingan

- NSE menurun sedikit dari 0.923 menjadi 0.901, tetapi masih berada dalam kategori model sangat baik.
- RMSE bertambah dari 0.00525 ke 0.0061 m/jam, menunjukkan sedikit peningkatan kesalahan, namun tetap kecil.
- RE meningkat dari 4.32% ke 5.21%, tetapi masih dalam batas akurasi tinggi

BAB VI

KESIMPULAN, KORELASI, REKOMENDASI DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian eksperimen laboratorium menggunakan flume dan analisis model infiltrasi Horton, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Debit limpasan tertinggi terjadi pada kondisi tanah jenuh tanpa sistem infiltrasi, yaitu sebesar 0,0289 L/detik pada median jalan dan 0,0282 L/detik pada saluran tepi. Hal ini mengindikasikan bahwa permukaan jalan tanpa fasilitas infiltrasi menghasilkan volume limpasan yang tinggi, khususnya saat intensitas dan durasi hujan meningkat.
2. Kemampuan infiltrasi tanah sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah. Pada lokasi uji yang didominasi tanah lempung, laju infiltrasi saat kondisi jenuh hanya sebesar 0,0086 L/detik (median) dan 0,0093 L/detik (saluran tepi), sementara pada kondisi tidak jenuh meningkat menjadi 0,0233 L/detik dan 0,0235 L/detik. Ini menunjukkan bahwa permeabilitas tanah lempung yang rendah membatasi penyerapan air hujan secara signifikan.
3. Kotak infiltrasi sederhana yang ditempatkan pada median jalan menunjukkan efektivitas dalam mereduksi debit limpasan sebesar 30,48% hingga 37,47%, tergantung kondisi kejenuhan tanah dan intensitas hujan. Efektivitas tertinggi tercapai pada kondisi tanah tidak jenuh karena infiltrasi masih berlangsung aktif.
4. Kombinasi antara kotak infiltrasi dan sumur resapan menghasilkan kinerja sistem infiltrasi yang lebih optimal. Reduksi limpasan meningkat menjadi 52,69% di median dan 45,51% di saluran tepi, dan meningkat lagi hingga 59,37% (median) dan 51,50% (saluran tepi) saat sistem terhubung langsung. Ini membuktikan adanya efek sinergis dari integrasi infiltrasi horizontal dan vertikal.
5. Model Horton setelah kalibrasi menunjukkan kesesuaian yang tinggi terhadap data lapangan. Parameter kalibrasi optimal (misalnya, $f_0 = 0,1224$

m/jam, $f_c = 0,0463$ m/jam, $k = 2,4199$) menghasilkan peningkatan nilai NSE $> 0,5$, serta penurunan nilai RE dan RMSE, yang menandakan peningkatan akurasi dan reliabilitas model dalam mensimulasikan proses infiltrasi.

6.2 Korelasi Hasil dan Pembahasan

a. Tanah Lempung dan Limpasan

Tanah lempung memiliki daya infiltrasi rendah. Korelasi negatif tercermin dari tingginya debit limpasan (0,0287 L/detik) saat infiltrasi hanya 0,0086 L/detik. Semakin rendah kemampuan tanah menyerap air, semakin besar limpasan yang terjadi.

b. Efektivitas Kotak Infiltrasi

Kotak infiltrasi menurunkan limpasan hingga 37,47%. Fungsi utamanya sebagai retensi sementara membuatnya sangat efektif saat tanah belum jenuh, karena air bisa mengalir ke bawah secara bertahap.

c. Efek Kombinasi Sistem Infiltrasi

Kombinasi kotak dan sumur meningkatkan reduksi limpasan hingga 59,37%. Sistem ini mampu memperpanjang waktu tunda limpasan dan meningkatkan kapasitas infiltrasi secara vertikal dan horizontal secara bersamaan.

d. Validasi Model Horton

Model Horton yang dikalibrasi menghasilkan:

- NSE meningkat dari $< 0,3$ menjadi $> 0,5$
- Relative Error (RE) menurun hingga di bawah 10%
- RMSE menunjukkan penurunan yang signifikan dibanding sebelum kalibrasi. Hal ini menunjukkan representasi model yang semakin mendekati data aktual.

e. Kaitan dengan Kebijakan Tata Ruang

Penggunaan sistem infiltrasi terbukti teknis dan efektif, mendukung rekomendasi penerapan wajib kotak infiltrasi dan sumur resapan pada wilayah jalan rawan banjir dalam regulasi tata ruang perkotaan.

6.3 Rekomendasi Teknis

1. Desain kotak infiltrasi sebaiknya ditingkatkan dengan:
 - o Volume lebih besar ($\geq 0,05 \text{ m}^3$ per unit)
 - o Media berpori tinggi seperti kerikil, pasir kasar, atau geotekstil
2. Integrasi langsung antara sistem median dan sumur resapan agar debit limpasan segera masuk ke sistem vertikal.
3. Lakukan uji variasi lebih lanjut pada jenis tanah lain (pasir, aluvial) untuk mengetahui keterterapan umum sistem ini.
4. Rancang flume skala lapangan untuk pengujian di lokasi nyata guna validasi hasil laboratorium.

6.4 Implikasi Kebijakan Teknis

a. **Desain Jalan Inklusif Infiltrasi**

Kotak infiltrasi dan sumur resapan wajib dimasukkan dalam setiap pembangunan jalan baru atau revitalisasi jalan eksisting, terutama di kota rawan banjir.

b. **Revisi Standar Nasional Drainase**

Diperlukan pembaruan dokumen teknis seperti SNI dan Permen PUPR, mencakup dimensi minimum, material media, dan kapasitas infiltrasi kotak serta sumur.

c. **Insentif Infrastruktur Hijau**

Pemda dapat memberikan insentif fiskal (pengurangan PBB, retribusi) kepada pengembang yang mengimplementasikan sistem infiltrasi berbasis penelitian ini.

d. **Monitoring dan Audit**

Pemasangan sensor debit dan kelembaban tanah direkomendasikan untuk menjaga efektivitas jangka panjang dan mencegah sedimentasi sistem.

e. **Kampanye Edukasi**

Kampanye publik harus mengedukasi pentingnya sistem infiltrasi untuk mitigasi banjir dan konservasi air tanah. Partisipasi warga perlu diatur dalam perda.

6.5 Saran Penelitian Lanjutan

1. Diversifikasi Lokasi

Lakukan penelitian lanjutan di berbagai wilayah tropis/subtropis dengan jenis tanah berbeda (pasir, aluvial, kompak) untuk validasi ekstensif.

2. Pengamatan Musiman

Perlu studi jangka panjang meliputi musim hujan dan kemarau, untuk melihat pengaruh kejenuhan tanah terhadap efektivitas infiltrasi.

3. Model Hidrologi Kompleks

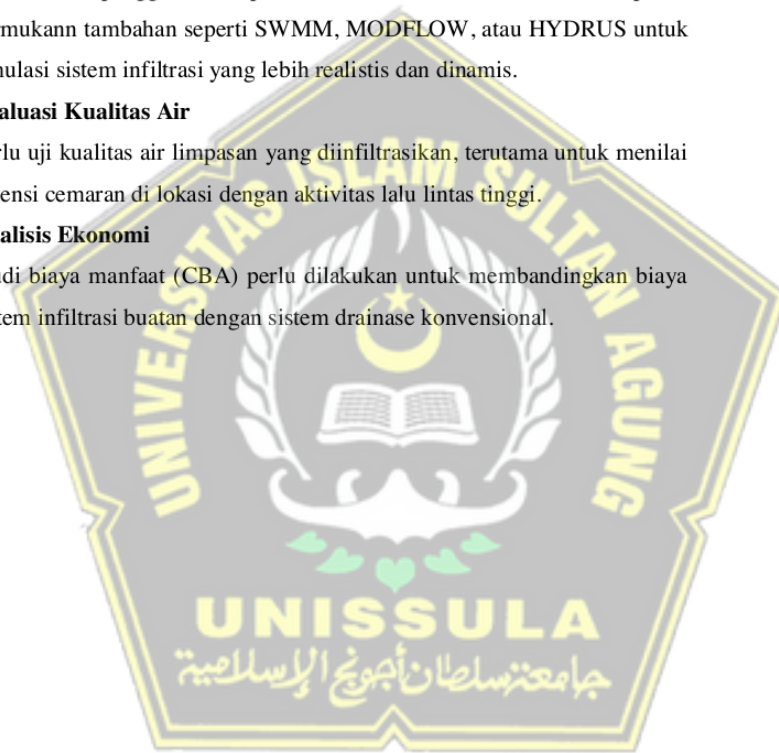
Disarankan penggunaan aplikasi software infiltrasi dan limpasan permukaan tambahan seperti SWMM, MODFLOW, atau HYDRUS untuk simulasi sistem infiltrasi yang lebih realistis dan dinamis.

4. Evaluasi Kualitas Air

Perlu uji kualitas air limpasan yang diinfiltrasikan, terutama untuk menilai potensi cemaran di lokasi dengan aktivitas lalu lintas tinggi.

5. Analisis Ekonomi

Studi biaya manfaat (CBA) perlu dilakukan untuk membandingkan biaya sistem infiltrasi buatan dengan sistem drainase konvensional.



DAFTAR PUSTAKA

- Abi Aad, M. P., Suidan, M. T., & Shuster, W. D. (2010). Modeling Techniques of Best Management Practices: Rain Barrels and Rain Gardens Using EPA SWMM-5. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(6), 434–443. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000136](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000136)
- Afonso, M. L., Fael, C. S., & Dinis-Almeida, M. (2020). Influence of clogging on the hydrologic performance of a double layer porous asphalt. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(6), 736–745. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1508843>
- Afonso, M. L., Santos, T. S., Fael, C. S., & Dinis-Almeida, M. (2019). Hydraulic Conductivity of the Permeable Asphalt Pavement - Laboratory vs in Situ Test. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/2/022023>
- Ahiablame, L. (2016). Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*, 171, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.036>
- Ahiablame, L., Chaubey, I., Engel, B., Cherkauer, K., & Merwade, V. (2013). Estimation of annual baseflow at ungauged sites in Indiana USA. *Journal of Hydrology*, 476, 13–27. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.002>
- Ahmed, K., Chung, E. S., Song, J. Y., & Shahid, S. (2017). Effective design and planning specification of low impact development practices using Water Management Analysis Module (WMAM): Case of Malaysia. *Water (Switzerland)*, 9(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/w9030173>
- Al Dianty M, Arbaningrum A, K. S. (2022). Pemanfaatan Lubang Resapan Biopori Sebagai Alih Fungsi Lahan dan Upaya Mitigasi Banjir. *Jurnal Pengabdian Dharma Laksana Mengabdikan Untuk Negri*, 4(8.5.2017), 210–218.
- Alam, T., Mahmoud, A., Jones, K. D., Bezares-Cruz, J. C., & Guerrero, J. (2019). A comparison of three types of permeable pavements for urban runoff mitigation in the semi-arid South Texas, U.S.A. *Water (Switzerland)*, 11(10), 1–23. <https://doi.org/10.3390/w11101992>
- Alfredo, K., Montalto, F., & Goldstein, A. (2010). Observed and modeled

- performances of prototype green roof test plots subjected to simulated low-and high-intensity precipitations in a laboratory experiment. *Journal of Hydrologic* [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000135](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000135)
- Alyaseri, I., & Zhou, J. (2016). Stormwater volume reduction in combined sewer using permeable pavement: city of St. Louis. *Journal of Environmental Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001056](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001056)
- Amaguchi, H., & Kawamura, A. (2016). Evaluation of Climate Change Impacts on Urban Drainage Systems by a Storm Runoff Model with a Vector-Based Catchment Delineation. *World Environmental And Water Resources Congress 2016: Hydraulics and Waterways and Hydro-Climate/Climate Change - Papers from Sessions of the Proceedings of the 2016 World Environmental and Water Resources Congress*, 597–606. <https://doi.org/10.1061/9780784479872.061>
- Amrullah, A. A. (2022). Rainwater Infiltration Box to Prevent Flood Disaster. *International Journal of Current Science Research and Review*, 05(08), 3155–3162. <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/v5-i8-43>
- Amur, A., Wadzuk, B., & Traver, R. (2020). Analyzing the performance of a rain garden over 15 years: How predictable is the rain garden's response? *International Low Impact Development Conference 2020: Setting the Vision for the Next Twenty Years - Proceedings of the International Low Impact Development Conference 2020*, 151–162. <https://doi.org/10.1061/9780784483114.014>
- Andersen, C. (1999). The role of urban surfaces (permeable pavements) in regulating drainage and evaporation: Development of a laboratory simulation experiment. *Hydrological Processes*, 13(4), 597–609. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199903\)13:4<597::AID-HYP756>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199903)13:4<597::AID-HYP756>3.0.CO;2-Q)
- Angel, S., Parent, J., Civco, D. L., Blei, A., & Potere, D. (2011). The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000-2050. *Progress in Planning*, 75(2), 53–107. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2011.04.001>
- Anker, Y., Mirlas, V., Gimburg, A., Zilberbrand, M., Nakonechny, F., Meir, I., &

- Inbar, M. (2019). Effect of rapid urbanization on Mediterranean karstic mountainous drainage basins. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101704. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101704>
- Ashabie, A. S., & Masjud, Y. I. (2022). The Study of Biopore Infiltration Holes (BIH) Implementation to Reduce Waterlogging in President University Campus Area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1111(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1111/1/012060>
- Autixier, L., Mailhot, A., Bolduc, S., Madoux-Humery, A. S., Galarneau, M., Prévost, M., & Dörner, S. (2014). Evaluating rain gardens as a method to reduce the impact of sewer overflows in sources of drinking water. *Science of the Total Environment*, 499, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.030>
- Bai, Y., Zhao, N., Zhang, R., & Zeng, X. (2019). *Storm Water Management of Low Impact Development in Urban Areas Based on SWMM*. <https://doi.org/10.3390/w11010033>
- Banting, D., Hitesh, D., & Li, James Missios, P. (2005). Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto. City of Toronto and Ontario Centres for Excellence—Earth and Environmental Technologies. *OCE-ETech*, October 2005, 1–88.
- Bao, T., Liu, Z. (Leo), Zhang, X., & He, Y. (2019). A drainable water-retaining paver block for runoff reduction and evaporation cooling. *Journal of Cleaner Production*, 228, 418–424. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.142>
- Barber, M. E., King, S. G., Yonge, D. R., & Hathhorn, W. E. (2003). Ecology Ditch: A Best Management Practice for Storm Water Runoff Mitigation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 8(3), 111–122. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(2003\)8:3\(111\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(2003)8:3(111))
- Barbosa, A. E., Fernandes, J. N., & David, L. M. (2012). Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water Research*, 46(20), 6787–6798. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.029>
- Basuki Setiyo Budi. (2013). Model Peresapan Air Hujan Dengan Menggunakan Metode Lubang Resapan Biopori dalam Upaya Pencegahan Banjir. *Wahana TEKNIK SIPIL*, 18, 282.

- Belladonna, M., Nasir, N., & Agustomi, E. (2018). Design of Infiltration Well to Reduce Inundation in Rawa Makmur Village , Bengkulu City. *Design of Infiltration Well To Reduce Inundation in Rawa Makmur Village, Bengkulu City*, 53–58.
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A. H., & GhaffarianHoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 115, 411–428. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>
- Bergman, M., Hedegaard, M. R., Petersen, M. F., Binning, P., Mark, O., & Mikkelsen, P. S. (2011). Evaluation of two stormwater infiltration trenches in central Copenhagen after 15 years of operation. *Water Science and Technology*, 63(10), 2279–2286. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.158>
- Bliss, D. J., Neufeld, R. D., & Ries, R. J. (2009). Storm Water Runoff Mitigation Using a Green Roof. *Environmental Engineering Science*, 26(2), 407–418. <https://doi.org/10.1089/ees.2007.0186>
- Brunetti, G., Šimůnek, J., & Piro, P. (2016). A comprehensive numerical analysis of the hydraulic behavior of a permeable pavement. *Journal of Hydrology*, 540, 1146–1161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.030>
- Bunganaen W, M. T., & Sir. (2016). Pemanfaatan Sumur Resapan Untuk Meminimalisir Genangan di Sekitar Jalan Cak Doko. *Jurnal Teknik Sipil*, V(1), 67–78.
- Butler, D., McEntee, B., Onof, C., & Hagger, A. (2007). Sewer storage tank performance under climate change. *Water Science and Technology*, 56(12), 29–35. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.760>
- Camargo Valero, M. A., Mara, D. D., & Newton, R. J. (2010). Universities of Leeds , Sheffield and York Chapter 4. *Online*, 64, 49–67.
- Carter, T., & Jackson, C. R. (2007). Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape and Urban Planning*, 80(1–2), 84–94. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.06.005>
- Chahar, B. R., Grailot, D., & Gaur, S. (2012). Storm-water management through infiltration trenches. *Journal of Irrigation and Drainage* [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000408](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000408)
- Chai, L. (2012). Hydraulic performance of fully permeable highway shoulder for

- storm water runoff management. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 138(7), 711–722. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000523](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000523)
- Chang, N. (2018). Global policy analysis of low impact development for stormwater management in urban regions. *Land Use Policy*, 70, 368–383. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.024>
- Chaosakul, T., Koottatep, T., & Irvine, K. (2013). *Low Impact Development Modeling to Assess Localized Flood Reduction in Thailand. June 2014*. <https://doi.org/10.14796/JWMM.R246-18>
- Chen, J., Liu, Y., Gitau, M. W., Engel, B. A., & ... (2019). Evaluation of the effectiveness of green infrastructure on hydrology and water quality in a combined sewer overflow community. *Science of the Total ...*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719304632>
- Chen, Y., Tan, M., Wan, J., Weise, T., & Wu, Z. (2021). Effectiveness evaluation of the coupled LIDs from the watershed scale based on remote sensing image processing and SWMM simulation. *European Journal of Remote Sensing*, 54(sup2), 77–91. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1758962>
- Collins, K. A., Hunt, W. F., & Hathaway, J. M. (2008). Hydrologic Comparison of Four Types of Permeable Pavement and Standard Asphalt in Eastern North Carolina. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(12), 1146–1157. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(2008\)13:12\(1146\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(2008)13:12(1146))
- Cooper, M. (2010). Advanced Bash-Scripting Guide An in-depth exploration of the art of shell scripting Table of Contents. *Okt 2005 Abrufbar Uber Httpwww Tldp OrgLDPabsabsguide Pdf Zugriff 1112 2005*, 2274(November 2008), 2267–2274. <https://doi.org/10.1002/hyp>
- Cossio, M. L. T., Giesen, L. F., Araya, G., Pérez-Cotapos, M. L. S., VERGARA, R. L., Manca, M., Tohme, R. A., Holmberg, S. D., Bressmann, T., Lirio, D. R., Román, J. S., Solís, R. G., Thakur, S., Rao, S. N., Modelado, E. L., La, A. D. E., Durante, C., Tradición, U. N. A., En, M., ... Héritier, F. (2015). Report for the Urban Flooding Awareness Act. *State of Illinois, Illionis Department of Natural Resources*, 2. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15003161%5Cnhttp://cid.oxfordjourna>

ls.org/lookup/doi/10.1093/cid/cir991%5Cnhttp://www.scielo.cl/pdf/udecada/v15n26/art06.pdf%5Cnhttp://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84861150233&partnerID=tZOtx3y1

- Darsono, S. (2007). Sistem Pengelolaan Air Hujan Lokal Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Ilmiah. Universitas Diponegoro. Desember, 13(4), 256–263.* <http://eprints.undip.ac.id/25109/>
- Dechesne, M., Barraud, S., & Bardin, J.-P. (2005). Experimental Assessment of Stormwater Infiltration Basin Evolution. *Journal of Environmental Engineering, 131(7), 1090–1098.* [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(2005\)131:7\(1090\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(2005)131:7(1090))
- Denardo, J. C., Jarrett, A. R., Manbeck, H. B., Beattie, D. J., & Berghage, R. D. (2005). *Stromwater Mitigation And Surface Temperatur Reduction by Green Roofs. 48(4), 1491–1496.*
- DeNardo, J. C., Jarrett, A. R., Manbeck, H. B., Beattie, D. J., & Berghage, R. D. (2003). Stormwater Detention and Retention Abilities of Green Roofs. *World Water and Environmental Resources Congress, 814, 1639–1645.* [https://doi.org/10.1061/40685\(2003\)310](https://doi.org/10.1061/40685(2003)310)
- Development, L. I., & Water, R. (2010). *Low Impact Development 2010: Redefining Water in the City © 2010 ASCE 1664. 2, 1664–1674.*
- Devianti, Jayanti S.R., S. D. (2020). Analysis of surface runoff at oil palm plantation areas from the uses of bio-pore infiltration holes (BIH). *International Journal of Scientific and Technology Research, 9(1), 3915–3918.* https://api.elsevier.com/content/abstract/scopus_id/85078738659
- Dietz, M. E., & Clausen, J. C. (2005). A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment. *Water, Air, and Soil Pollution, 167(1–4), 123–138.* <https://doi.org/10.1007/s11270-005-8266-8>
- Douglas, I., Garvin, S., Lawson, N., Richards, J., Tippet, J., & White, I. (2010). Urban pluvial flooding: A qualitative case study of cause, effect and nonstructural mitigation. In *Journal of Flood Risk Management* (Vol. 3, Issue 2, pp. 112–125). <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2010.01061.x>
- Drake, J. A. P., Bradford, A., & Marsalek, J. (2013). Review of environmental performance of permeable pavement systems: State of the knowledge. *Water*

- Quality Research Journal of Canada*, 48(3), 203–222.
<https://doi.org/10.2166/wqrjc.2013.055>
- Dreelin, E. A., Fowler, L., & Carroll, C. R. (2006). A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events. *Water Research*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135405007116>
- Du, J., Qian, L., Rui, H., Zuo, T., Zheng, D., Xu, Y., & Xu, C. Y. (2012). Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China. *Journal of Hydrology*, 464–465, 127–139.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.057>
- Du, S., Wang, C., Shen, J., Wen, J., Gao, J., Wu, J., Lin, W., & Xu, H. (2019). Mapping the capacity of concave green land in mitigating urban pluvial floods and its beneficiaries. *Sustainable Cities and Society*, 44, 774–782.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.003>
- Duppa, H. (2017). *SUMUR RESAPAN UNTUK MENGURANGI GENANGAN AIR DAN BANJIR*. 3(April), 48–55.
- Eckart, K. (2018). Multiobjective optimization of low impact development stormwater controls. *Journal of Hydrology*, 562, 564–576.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.068>
- Environmental, W. (2019). *Green Infrastructure Inventory Review in Southern California*. 461–478.
- Ercolani, G., Chiaradia, E. A., Gandolfi, C., Castelli, F., & ... (2018). Evaluating performances of green roofs for stormwater runoff mitigation in a high flood risk urban catchment. In *Journal of Elsevier*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169418307443>
- Eulogi, M., Ostojin, S., Skipworth, P., Kroll, S., Shucksmith, J. D., & Schellart, A. (2022). *Optimal Positioning of RTC Actuators and SuDS for Sewer Overflow Mitigation in Urban Drainage Systems*. 1–19.
- Fassman, E. (2010). Urban runoff mitigation by a permeable pavement system over impermeable soils. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(6), 475–485.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000238](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000238)
- Festing, H., Copp, C., Sprague, H., Wolf, D., Shorofsky, B., & Nichols, K. (2013).

- The Prevalence and Cost of Urban Flooding: A Case Study of Cook County, IL.* May, 25. <http://www.cnt.org/news/2013/05/14/urban-flooding-is-chronic-and-costly-but-not-correlated-with-floodplains/>
- Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Dahe, Q., Jon Dokken, D., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G. K., Allen, S. K., Tignor, M., & Midgley, P. M. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: Special report of the intergovernmental panel on climate change. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 9781107025(November 2012), 1–582. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245>
- Foster, J. (2011). *THE VALUE OF GREEN INFRASTRUCTURE* The Center for Clean Air Policy. February.
- Freni, G., & Liuzzo, L. (2019). Effectiveness of rainwater harvesting systems for flood reduction in residential urban areas. *Water (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/w11071389>
- Gao, Y., Babin, N., Turner, A. J., Hoffa, C. R., Peel, S., & Prokopy, L. S. (2016). Understanding urban-suburban adoption and maintenance of rain barrels. *Landscape and Urban Planning*, 153, 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.005>
- Ghodsi, S. H., Zahmatkesh, Z., Goharian, E., Kerachian, R., & Zhu, Z. (2020). Optimal design of low impact development practices in response to climate change. *Journal of Hydrology*, 580, 124266. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124266>
- Gomez-Ullate, E., Castillo-Lopez, E., Castro-Fresno, D., & Bayon, J. R. (2011). Analysis and Contrast of Different Pervious Pavements for Management of Storm-Water in a Parking Area in Northern Spain. *Water Resources Management*, 25(6), 1525–1535. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9758-x>
- Goncalves, M. L. R. (2018). Modeling the effects of introducing low impact development in a tropical city: A case study from Joinville, Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/su10030728>
- Gong, Y., Chen, Y., Yu, L., Li, J., Pan, X., Shen, Z., Xu, X., & Qiu, Q. (2019).

- Effectiveness analysis of systematic combined sewer overflow control schemes in the sponge city pilot area of Beijing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(9), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091503>
- Gregoire, B. G., & Clausen, J. C. (2011). Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecological Engineering*, 37(6), 963–969. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.02.004>
- Gülbaz, S. (2017). Experimental investigation on hydrologic performance of LID with rainfall-watershed-bioretention system. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001450](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001450)
- Gülbaz, S., & Kazezyılmaz-Alhan, C. M. (2016). Experimental investigation on hydrologic performance of LID with rainfall-watershed-bioretention system. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(1), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001450](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001450)
- Halief, K., Ningsih, R., & Nuryanto, N. (2011). Pengembangan Teknik Bioretention Dalam Mengatasi Limpasan Air Hujan. *Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Sipil)*, 4(7), 51–56.
- Hallegatte, S., & Corfee-Morlot, J. (2011). Understanding climate change impacts, vulnerability and adaptation at city scale: An introduction. *Climatic Change*, 104(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9981-8>
- Helmi, A. M., Mahrous, A., & Mustafa, A. El. (2019). *Remote sensing*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-01572-5>
- Hernes, R. R., Gragne, A. S., Abdalla, E. M. H., Braskerud, B. C., Alfredsen, K., & Muthanna, T. M. (2020). Assessing the effects of four SUDS scenarios on combined sewer overflows in Oslo, Norway: Evaluating the low-impact development module of the Mike Urban model. *Hydrology Research*, 51(6), 1437–1454. <https://doi.org/10.2166/nh.2020.070>
- Hu, M. (2017). Evaluation of low impact development approach for mitigating flood inundation at a watershed scale in China. *Journal of Environmental Management*, 193, 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.020>
- Hu, M., Zhang, X., Siu, Y. L., Li, Y., Tanaka, K., Yang, H., & Xu, Y. (2018). Flood mitigation by permeable pavements in Chinese sponge city construction.

- Water (Switzerland)*, 10(2), 1–12. <https://doi.org/10.3390/w10020172>
- Huang, C. L., Hsu, N. S., Liu, H. J., & Huang, Y. H. (2018). Optimization of low impact development layout designs for megacity flood mitigation. *Journal of Hydrology*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169418305560>
- Huang, H., Chen, X., Zhu, Z., Xie, Y., Liu, L., Wang, X., Wang, X., & Liu, K. (2018). The changing pattern of urban flooding in Guangzhou, China. *Science of the Total Environment*, 622–623, 394–401.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.358>
- Ikhwan, F. A., & Franchitika, R. (2021). Rancang Ulang Saluran Drainase Kampung Lalang dengan Metode Drainase Biopori Resapan. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 5(2), 126–131.
<https://doi.org/10.31289/jcebt.v5i2.5846>
- Jarden, K. M., Jefferson, A. J., & Grieser, J. M. (2016). Assessing the effects of catchment-scale urban green infrastructure retrofits on hydrograph characteristics. *Hydrological Processes*, 30(10), 1536–1550.
<https://doi.org/10.1002/hyp.10736>
- Jennings, A. A., Adeel, A. A., Hopkins, A., & ... (2013). Rain barrel–urban garden stormwater management performance. *Journal of*
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000663](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000663)
- Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2011). *A Guide to Integrated Urban*.
- Jones, M. P., & Hunt, W. F. (2010). Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(10), 623–629. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.11.002>
- Joshi, P. (2021). Not all SuDS are created equal: Impact of different approaches on combined sewer overflows. *Water Research*, 191.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116780>
- Juan, A., Hughes, C., Fang, Z., & Bedient, P. (2017). Hydrologic Performance of Watershed-Scale Low-Impact Development in a High-Intensity Rainfall Region. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(4), 1–11.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0001141](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001141)
- Kaspersen, P. S. (2017). Comparison of the impacts of urban development and

- climate change on exposing European cities to pluvial flooding. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(8), 4131–4147. <https://doi.org/10.5194/hess-21-4131-2017>
- Keyvanfar, A., Shafaghat, A., Mohamad, S., Abdullahi, M. M., Ahmad, H., Derus, N. H. M., & Khorami, M. (2018). A sustainable historic waterfront revitalization decision support tool for attracting tourists. *Sustainability (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/su10020215>
- Khadka, A., Kokkonen, T., Niemi, T. J., Lähde, E., Sillanpää, N., & Koivusalo, H. (2020). Towards natural water cycle in urban areas: Modelling stormwater management designs. *Urban Water Journal*, 17(7), 587–597. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1700285>
- Kong, F., Ban, Y., Yin, H., James, P., & Dronova, I. (2017). Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development. *Environmental Modelling and Software*, 95, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.021>
- Konrad, C. P. (2003). Effects of Urban Development on Floods. *U.S. Geological Survey*, d(November), 1–4.
- Korgaonkar, Y., Guertin, D. P., Meixner, T., & ... (2021). Hydrological modeling of green infrastructure to quantify its effect on flood mitigation and water availability in the high school watershed in Tucson, AZ. ... *International Journal of ...* <https://www.mdpi.com/1168874>
- Kusumawati W, & Arofiati F. (2020). Biopori: Alternatif Pencegahan Banjir Melalui Pemberdayaan Masyarakat Pondok Pesantren. In *Prosiding* download.garuda.kemdikbud.go.id. [http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=2586385&val=24333&title=BIOPORI ALTERNATIF PENCEGAHAN BANJIR MELALUI PEMBERDAYAAN MASYARAKAT PONDOK PESANTREN](http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=2586385&val=24333&title=BIOPORI%20ALTERNATIF%20PENCEGAHAN%20BANJIR%20MELALUI%20PEMBERDAYAAN%20MASYARAKAT%20PONDOK%20PESANTREN)
- Le Coustumer, S., Fletcher, T. D., Deletic, A., Barraud, S., & Lewis, J. F. (2009). Hydraulic performance of biofilter systems for stormwater management: Influences of design and operation. *Journal of Hydrology*, 376(1–2), 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.012>
- Lee, E. S., Lee, D. K., Kim, S. H., & Lee, K. C. (2018). Design strategies to reduce

- surface water flooding in a historical district. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S838–S854. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12268>
- Lee, J. M., Hyun, K. H., & Choi, J. S. (2013). Analysis of the impact of low impact development on runoff from a new district in Korea. *Water Science and Technology*, 68(6), 1315–1321. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.346>
- Lee, J. Y., Lee, M. J., & Han, M. (2015). A pilot study to evaluate runoff quantity from green roofs. *Journal of Environmental Management*, 152, 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.028>
- Li, F., Yan, X. F., & Duan, H. F. (2019). Sustainable design of urban stormwater drainage systems by implementing detention tank and LID measures for flooding risk control and water quality management. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02300-0>
- Li, J., Deng, C., Li, Y., Li, Y., & Song, J. (2017). Comprehensive benefit evaluation system for low-impact development of urban stormwater management measures. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1776-5>
- Li, S., Qin, H., Peng, Y., & Thiam, S. (2019). Modelling the combined effects of runoff reduction and increase in evapotranspiration for green roofs with a storage layer. *Ecological Engineering*, 127(December 2018), 302–311. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.003>
- Liarto, D. (2022). Peraturan No 57 Tahun 2021 Tentang Rencana Kerja Pemerintah Daerah Kota Cirebon Tahun 2022. *Galang Tanjung*, 2504, 1–9.
- Ligtenberg, J. (2017). Runoff changes due to urbanization: A review. *Unpublihsed*, January, 1–26. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1067287/FULLTEXT01.pdf%0Ahttp://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1067287&dswid=4043>
- Lin, J. (2018). Evaluating the Effectiveness of Green Roads for Runoff Control. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 4(2). <https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000847>
- Litofsky, A. L. E., & Jennings, A. A. (2014). Evaluating Rain Barrel Storm Water Management Effectiveness across Climatology Zones of the United States. *Journal of Environmental Engineering*, 140(4).

- [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0000815](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000815)
- Liu, T., Lawluy, Y., & Shi, Y. (2021). Low Impact Development (LID) Practices : A Review on Recent Developments , Challenges and Prospects. In *Water, Air, & Soil Pollution*. Springer International Publishing.
- <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05262-5>
- Locatelli, L., Gabriel, S., Mark, O., & ... (2015). Modelling the impact of retention–detention units on sewer surcharge and peak and annual runoff reduction. *Water Science* <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/71/6/898/18845>
- Locatelli, L., Mark, O., Mikkelsen, P. S., & ... (2015). Determining the extent of groundwater interference on the performance of infiltration trenches. *Journal of ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169415006629>
- Low, I., & Development, I. (2018). *International Low Impact Development Conference 2018 101*, 101–109.
- Low, I., Development, I., Works, I., & Climates, A. (2015). *Innovative Design of the Gravel System for Underground Parking Garage*. 322–330.
- Lucas, W. C., & Sample, D. J. (2015). Reducing combined sewer overflows by using outlet controls for Green Stormwater Infrastructure: Case study in Richmond, Virginia. *Journal of Hydrology*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169414008245>
- Mangangka, I. R. (2015). Performance characterisation of a stormwater treatment bioretention basin. *Journal of Environmental Management*, 150, 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.007>
- Mantika, N. J., Hidayati, S. R., & Fathurrohman, S. (2020). Identifikasi Tingkat Kerentanan Bencana Di Kabupaten Gunungkidul. *Matra*, 1(1), 59–70. <https://journal.itny.ac.id/index.php/matra/article/view/1254>
- Marks, D., & Lebel, L. (2016). Disaster governance and the scalar politics of incomplete decentralization: Fragmented and contested responses to the 2011 floods in Central Thailand. *Habitat International*, 52, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.08.024>
- Mejía, A. I., & Moglen, G. E. (2009). Spatial Patterns of Urban Development from Optimization of Flood Peaks and Imperviousness-Based Measures. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(4), 416–424. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-)

0699(2009)14:4(416)

- Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>
- Miguez, M. G. (2014). *Sustainable Urban Drainage Approach, Focusing On LID Techniques, Applied To The Design Of New Housing Subdivisions In The*. 9(4), 538–552. <https://doi.org/10.2495/SDP-V9-N4-538-552>
- Mikovits, C. (2017). Decision support for adaptation planning of urban drainage systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(12). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000840](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000840)
- Mishra, G., Acharya, G., Iyer, M., & Doshi, S. (2020). Deconstructing water sensitivity: Experiences from global cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 592(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/592/1/012012>
- Misni, A., & Shahfuddin, N. A. F. A. (2017). Low-impact development: Minimising stormwater runoff in a case study of section 13, Shah Alam, Malaysia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 220(July), 205–215. <https://doi.org/10.2495/WRM170201>
- Montalto, F., Behr, C., Alfredo, K., Wolf, M., Arye, M., & ... (2007). Rapid assessment of the cost-effectiveness of low impact development for CSO control. *Landscape and Urban*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204607000515>
- Mullaney, J. (2014). Practical review of pervious pavement designs. In *Clean - Soil, Air, Water* (Vol. 42, Issue 2, pp. 111–124). <https://doi.org/10.1002/clen.201300118>
- Nachshon, U., Netzer, L., & Livshitz, Y. (2016). Land cover properties and rain water harvesting in urban environments. *Sustainable Cities and Society*, 27, 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.08.008>
- Nakayama, T., & Fujita, T. (2010). Cooling effect of water-holding pavements made of new materials on water and heat budgets in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.02.003>

- Nasrin, T., Muttill, N., & Sharma, A. K. (2016). *WSUD Strategies to Minimise the Impacts of Climate Change and Urbanisation on Urban Sewerage Systems*. October 2018. <https://doi.org/10.21139/wej.2016.025>
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33(7), 719–729. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7)
- No, M. C., & Code, M. F. (2011). *Determining the Potential of Green Infrastructure to Reduce Overflows in Milwaukee*.
- Osheen, & Singh, K. K. (2019). Rain Garden—A Solution to Urban Flooding: A Review. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 30). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6717-5_4
- Otto, A., Rolt, J., & Mukura, K. (2020). The impact of drainage on the performance of low volume sealed roads. *Sustainability (Switzerland)*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/su12156101>
- Overflows, C. S. (2006). *Rooftops to rivers*. June.
- Palermo, S. A., Talarico, V. C., & Turco, M. (2020). On the LID systems effectiveness for urban stormwater management: Case study in Southern Italy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 410(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012012>
- Palermo, S. A., Turco, M., Principato, F., & Piro, P. (2019). Hydrological effectiveness of an extensive green roof in Mediterranean climate. *Water (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/w11071378>
- Palla, A., Gnecco, I., Lanza, L. G., & La Barbera, P. (2012). Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. *Resources, Conservation and Recycling*, 62, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.02.006>
- Pandeirot, L. A., & Thomas, J. I. K. A. (2019). Laju Resapan Biopori Pada Beberapa Tipe Tanah Bioporial Approachrate in Various Soil Types. *Cocos*, 1(3), 0–3.
- Papiri, S., Ciaponi, C., Capodaglio, A., Collivignarelli, C., Bertanza, G., Swartling, F., Crow, M., Fantozzi, M., & Valcher, P. (2003). Field monitoring and

- evaluation of innovative solutions for cleaning storm water runoff. *Water Science and Technology*, 47(7–8), 327–334. <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0706>
- Pappas, E. A., Smith, D. R., Huang, C., Shuster, W. D., & Bonta, J. V. (2008). Impervious surface impacts to runoff and sediment discharge under laboratory rainfall simulation. *Catena*, 72(1), 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.05.001>
- Park, J., Park, J., Cheon, J., Lee, J., & Shin, H. (2020). Analysis of infiltrating water characteristics of permeable pavements in a parking lot at full scale. *Water (Switzerland)*, 12(8), 1–9. <https://doi.org/10.3390/W12082081>
- Park, S. B., Lee, B., Lee, J., & Jang, Y. Il. (2010). A study on the seawater purification characteristics of water-permeable concrete using recycled aggregate. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(10), 658–665. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.11.006>
- Petersen, W. (2010). Managing urban runoff. *A Watershed Year: Anatomy of the Iowa Floods of 2008*, 205–214. <https://doi.org/10.2307/j.ctt20mvd5n.31>
- Pickering, N., Wood, J., Hsia, S., & Road, P. (2012). *Controlling Combined Sewer Overflows in Chelsea, MA: Analysis of Green vs. Gray Infrastructure Study and Report by: Prepared for: City of Chelsea*.
- Poff, N. L. R., Bledsoe, B. P., & Cuhaciyan, C. O. (2006). Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. *Geomorphology*, 79(3–4), 264–285. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.032>
- Prasetya. (n.d.). *Analisis Desain Sumur Resapan Pada Kawasan Permukiman di Banjarbaru*. 4.
- Pratiwi, D., Fitri, A., Phelia, A., Adma, N. A. A., & Kastamto. (2021). Analysis of urban flood using synthetic unit hydrograph (SUH) and flood mitigation strategies along way Halim River: a case study on Seroja street, Tanjung Senang District. *E3S Web of Conferences*, 331. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202133107015>
- Pratt, C. J. (1996). Research and development in methods of soakaway design. *Water and Environment Journal*, 10(1), 47–51. <https://doi.org/10.1111/j.1747->

6593.1996.tb00007.x

Ptomey, P. (2013). *No Title*.

Qin, H. peng, Li, Z. xi, & Fu, G. (2013). The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of Environmental Management*, 129, 577–585.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.026>

Qin, Y., Huang, Z., Yu, Z., Liu, Z., & Wang, L. (2019). A novel buffer tank to attenuate the peak flow of runoff. In *Civil Engineering Journal*. scholar.archive.org.
<https://scholar.archive.org/work/sheix2l4zbcl3fgr3r6m6ljc4y/access/wayback/https://civilejournal.org/index.php/cej/article/download/1848/pdf>

Qylurqphqw, D. Q. G., Atakara, C., & Ramezani, H. (2020). *Investigating the Important Factors of Use and Replacement of Thirsty Concrete Materials in Urban Development*. 6(1), 1–8.

Ranger, N., Hallegatte, S., Bhattacharya, S., Bachu, M., Priya, S., Dhore, K., Rafique, F., Mathur, P., Naville, N., Henriot, F., Herweijer, C., Pohit, S., & Corfee-Morlot, J. (2011). An assessment of the potential impact of climate change on flood risk in Mumbai. *Climatic Change*, 104(1), 139–167.
<https://doi.org/10.1007/s10584-010-9979-2>

Richmond, I. (2014). *Greening Richmond , USA : a sustainable urban drainage demonstration project*. 167.

Riechel, M. (2020). Sustainable urban drainage systems in established city developments: Modelling the potential for CSO reduction and river impact mitigation. *Journal of Environmental Management*, 274.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111207>

Rodriguez-Hernandez, J., Andrés-Valeri, V. C., Ascorbe-Salcedo, A., & Castro-Fresno, D. (2016). Laboratory Study on the Stormwater Retention and Runoff Attenuation Capacity of Four Permeable Pavements. *Journal of Environmental Engineering*, 142(2), 1–8.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0001033](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001033)

Rohyanti, S., Ridwan, I., & Nurlina. (2015). Analisis Limpasan Permukaan dan Pemaksimalan Resapan Air Hujan di Daerah Tangkapan Air (Dta) Sungai

- Besar Kota Banjarbaru untuk Pencegahan Banjir. *Jurnal Fisika FLUX*, 12(2), 128–139.
- Roldin, M., Fryd, O., Jeppesen, J., Mark, O., Binning, P. J., & ... (2012). Modelling the impact of soakaway retrofits on combined sewage overflows in a 3 km² urban catchment in Copenhagen, Denmark. *Journal of* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412004039>
- Roldin, M., Locatelli, L., Mark, O., Mikkelsen, P. S., & Binning, P. J. (2013). A simplified model of soakaway infiltration interaction with a shallow groundwater table. *Journal of Hydrology*, 497, 165–175. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.005>
- Roseboro, A. (2021). The Impacts of Climate Change and Porous Pavements on Combined Sewer Overflows: A Case Study of the City of Buffalo, New York, USA. *Frontiers in Water*, 3. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.725174>
- Roy, A. H., Wenger, S. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R., Shuster, W. D., Thurston, H. W., & Brown, R. R. (2008). Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States. *Environmental Management*, 42(2), 344–359. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9119-1>
- Safriani, E. W., Halimah, A. N., & Wibowo, Y. A. (2020). Hydrology Modelling-Based Biopore Infiltration Holes (BIH) Determination as River Flood Disaster Mitigation in Sewu Village, Surakarta, Central Java, Indonesia. *Jurnal Geografi : Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 17(1), 27–31. <https://doi.org/10.15294/jg.v17i1.22377>
- Saidah, H., Nur, N. K., Rangan, P. R., Mukrim, M. I., Tumpu, M., Jamal, M., Mansida, A., Sindagamanik, F. D., Yayasan, P., & Menulis, K. (n.d.). *Drainase Perkotaan*. Yayasan Kita Menulis.
- Sang, Y. F., & Yang, M. (2017). Urban waterlogs control in China: more effective strategies and actions are needed. *Natural Hazards*, 85(2), 1291–1294. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2614-4>
- Sanitya, S. R., & Burhanudin, H. (2013). Penentuan Lokasi dan Jumlah Lubang Resapan Biopori Di Kawasan DAS Cikapundung Bagian Tengah. *Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 13(1), 1–14.

- <https://ejournal.unisba.ac.id/index.php/planologi/article/view/1385>
- Sañudo-Fontaneda, L. A. (2014). Water quality and quantity assessment of pervious pavements performance in experimental car park areas. *Water Science and Technology*, 69(7), 1526–1533. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.056>
- Schmitter, P., Goedbloed, A., Galelli, S., & Babovic, V. (2016). Effect of Catchment-Scale Green Roof Deployment on Stormwater Generation and Reuse in a Tropical City. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(7), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000643](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000643)
- Schreider, S. Y., Smith, D. I., & Jakeman, A. J. (2000). Climate change impacts on urban flooding. *Climatic Change*, 47(1–2), 91–115. <https://doi.org/10.1023/a:1005621523177>
- Schroll, E., Lambrinos, J., Righetti, T., & Sandrock, D. (2011). The role of vegetation in regulating stormwater runoff from green roofs in a winter rainfall climate. *Ecological Engineering*, 37(4), 595–600. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.12.020>
- Shafaghat, A., Mir Ghasemi, M., Keyvanfar, A., Lamit, H., & Ferwati, M. S. (2017). Sustainable riverscape preservation strategy framework using goal-oriented method: Case of historical heritage cities in Malaysia. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 143–159. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.03.003>
- Shafique, M., & Kim, R. (2017). Retrofitting the Low Impact Development Practices into Developed Urban areas Including Barriers and Potential Solution. *Open Geosciences*, 9(1), 240–254. <https://doi.org/10.1515/geo-2017-0020>
- Shamsi, U. M. (2012). Modeling Rain Garden LID Impacts on Sewer Overflows. *Journal of Water Management Modeling*, 6062(September), 113–126. <https://doi.org/10.14796/jwmm.r245-07>
- Shannak, S. A., Jaber, F. H., & Lesikar, B. J. (2014). Modeling the effect of cistern size, soil type, and irrigation scheduling on rainwater harvesting as a stormwater control measure. *Water Resources Management*, 28(12), 4219–4235. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0740-x>

- Sindagamanik, F. D. (2021). The effect of pori hole distance variation on infiltration capacity in sandy clay soil sample drainage channels. *Civil Engineering and Architecture*, 9(3), 836–841. <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090325>
- Siriwardene, N. R., Deletic, A., & Fletcher, T. D. (2007). Clogging of stormwater gravel infiltration systems and filters: Insights from a laboratory study. *Water Research*, 41(7), 1433–1440. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.040>
- Siswanto, Darmayanti, L., & Tarigan, P. (2010). *Efektifitas Sumur Resapan Dalam Mempercepat Proses Laju Infiltrasi*.
- Son, C. H. (2017). Development and application of a low impact development (LID)-based district unit planning model. *Sustainability (Switzerland)*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/su9010145>
- Spolek, G. (2008). Performance monitoring of three ecoroofs in Portland, Oregon. *Urban Ecosystems*, 11(4), 349–359. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0061-z>
- Stovin, V., Vesuviano, G., & Kasmin, H. (2012). The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology*, 414–415, 148–161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.022>
- Strom Water Infiltration for Peak Flow Control By Bruce K. Ferguson. (1995). *Irrigation and Drainage*, DECEMBER, 463–466.
- Summerville, N. (2019). Rainwater harvesting potential in a semiarid Southern California city. *AWWA Water Science*, 1(1). <https://doi.org/10.1002/aws2.1123>
- Sun, Y. W., Li, Q. Y., Liu, L., Xu, C. D., & Liu, Z. P. (2014). Hydrological simulation approaches for BMPs and LID practices in highly urbanized area and development of hydrological performance indicator system. *Water Science and Engineering*, 7(2), 143–154. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2014.02.003>
- Takahashi, K., & Yabuta, K. (2009). Road temperature mitigation effect of “road cool,” a water-retentive material using blast furnace slag. *JFE Technical Report*, 13(13), 58–62.
- Talebi, A. (2019). Water retention performance of green roof technology: A comparison of canadian climates. *Ecological Engineering*, 126, 1–15.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.006>

- Talebi, L., & Pitt, R. (2018). Water sensitive urban design approaches in sewer system overflow management. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design: Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00007-1>
- Tang, X., Shu, Y., Lian, Y., Zhao, Y., & Fu, Y. (2018). A spatial assessment of urban waterlogging risk based on a Weighted Naïve Bayes classifier. *Science of the Total Environment*, 630, 264–274. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.172>
- Tao, J., Li, Z., Peng, X., & Ying, G. (2017). *combined sewer overflow control and urban flooding control Quantitative analysis of impact of green stormwater infrastructures on combined sewer over flow control and urban flooding control. September*. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0952-4>
- Tredway, J. C. (2017). Assessing the Potential of Low-Impact Development Techniques on Runoff and Streamflow in the Templeton Gap Watershed, Colorado. *Professional Geographer*, 69(3), 372–382. <https://doi.org/10.1080/00330124.2016.1252272>
- Tribhuwana, A., & Prasetyo, A. (2020). Analysis of Infiltration Relations With Land Physical Properties. *Journal of Green Science and Technology*, IV(3), 105–112.
- Tribhuwana, A., Rohman, F., & Farhan, O. (2021). Analysis of The Carrying Capacity of Urban Drainage Dimensions. *Journal of Green Science and Technology*, V(1), 11–20.
- VanWoert, N. D., Rowe, D. B., Andresen, J. A., Rugh, C. L., Fernandez, R. T., & Xiao, L. (2005). Green Roof Stormwater Retention. *Journal of Environmental Quality*, 34(3), 1036–1044. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0364>
- Villarreal, E. L., & Bengtsson, A. S. L. (2004). *Inner city stormwater control using a combination of best management practices*. 22, 279–298. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.06.007>
- Wahyudi, S. I., Adi, H. P., & Schultz, B. (2017). Revitalizing and preparing drainage operation and maintenance to anticipate climate change in Semarang

- heritage city. In *J. Environ. Sci. Eng. B*. davidpublisher.com.
<http://www.davidpublisher.com/Public/uploads/Contribute/58fec755f0343.pdf>
- Warnaars, E., Larsen, A. V., Jacobsen, P., & Mikkelsen, P. S. (1999). Hydrologic behaviour of stormwater infiltration trenches in a central urban area during 2 3/4 years of operation. *Water Science and Technology*, 39(2), 217–224.
[https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00026-8](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00026-8)
- Winston, R. J., Powell, J. T., & Hunt, W. F. (2019). Retrofitting a grass swale with rock check dams: hydrologic impacts. *Urban Water Journal*, 16(6), 404–411.
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1455881>
- Wise, S., Braden, J., Ghalayini, D., Grant, J., & ... (2010). Integrating valuation methods to recognize green infrastructure's multiple benefits. ... : *Redefining Water in ...*. [https://doi.org/10.1061/41099\(367\)98](https://doi.org/10.1061/41099(367)98)
- Wu, J. (2018). Effectiveness of low-impact development for urban inundation risk mitigation under different scenarios: A case study in Shenzhen, China. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(9), 2525–2536.
<https://doi.org/10.5194/nhess-18-2525-2018>
- Wuryanta, A. (2022). Study of ecodrainage system for hydrometeorological disaster mitigation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1109(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012029>
- Yamagata, H., Nasu, M., Yoshizawa, M., Miyamoto, A., & Minamiyama, M. (2008). Heat island mitigation using water retentive pavement sprinkled with reclaimed wastewater. *Water Science and Technology*, 57(5), 763–771.
<https://doi.org/10.2166/wst.2008.187>
- Yang, H., Dick, W. A., McCoy, E. L., Phelan, P. L., & Grewal, P. S. (2013). Field evaluation of a new biphasic rain garden for stormwater flow management and pollutant removal. *Ecological Engineering*, 54, 22–31.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.005>
- Yang, H., Florence, D. C., McCoy, E. L., Dick, W. A., & Grewal, P. S. (2009). Design and hydraulic characteristics of a field-scale bi-phasic bioretention rain garden system for storm water management. *Water Science and Technology*, 59(9), 1863–1872. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.186>

- Yang, W., Brüggemann, K., Seguya, K. D., Ahmed, E., Kaeseberg, T., Dai, H., Hua, P., Zhang, J., & Krebs, P. (2020). Measuring performance of low impact development practices for the surface runoff management. *Environmental Science and Ecotechnology*, 1(January), 100010. <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100010>
- Yazdanfar, Z., & Sharma, A. (2015). Urban drainage system planning and design - Challenges with climate change and urbanization: A review. *Water Science and Technology*, 72(2), 165–179. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.207>
- Yin, J., Yu, D., Yin, Z., Wang, J., & Xu, S. (2015). Modelling the anthropogenic impacts on fluvial flood risks in a coastal mega-city: A scenario-based case study in Shanghai, China. *Landscape and Urban Planning*, 136, 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.12.009>
- Yu, H., Zhao, Y., Fu, Y., & Li, L. (2018). Spatiotemporal variance assessment of urban rainstorm waterlogging affected by impervious surface expansion: A case study of Guangzhou, China. *Sustainability (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/su10103761>
- Zachary Bean, E., Frederick Hunt, W., & Alan Bidelsbach, D. (2007). Evaluation of Four Permeable Pavement Sites in Eastern North Carolina for Runoff Reduction and Water Quality Impacts. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(6), 583–592. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2007\)133:6\(583\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2007)133:6(583))
- Zhang, L., Lu, Q., Ding, Y., Peng, P., & Yao, Y. (2018). Design and Performance Simulation of Road Bioretention Media for Sponge Cities. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32(5), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001209](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001209)
- Zhang, L., Oyake, Y., Morimoto, Y., Niwa, H., & Shibata, S. (2019). Rainwater storage/infiltration function of rain gardens for management of urban storm runoff in Japan. *Landscape and Ecological Engineering*, 15(4), 421–435. <https://doi.org/10.1007/s11355-019-00391-w>
- Zhang, L., Sörensen, J., Yu, H., Li, J., & Persson, K. M. (2016). Quantifying Low Impact Development Measures in Water Resources Management-A Case Study. *2016 International Low Impact Development Conference*, 0–4.

- Zhang, P., & Ariaratnam, S. T. (2018). Meta-Analysis of Storm Water Impacts in Urbanized Cities Including Runoff Control and Mitigation Strategies. *Journal of Sustainable Development*, 11(6), 27. <https://doi.org/10.5539/jsd.v11n6p27>
- Zhang, P., Chen, L., Hou, X., Wei, G., Zhang, X., & Shen, Z. (2020). Detailed quantification of the reduction effect of roof runoff by low impact development practices. *Water (Switzerland)*, 12(3), 1–19. <https://doi.org/10.3390/w12030795>
- Zhang, Q., Miao, L., Wang, X., Liu, D., Zhu, L., Zhou, B., Sun, J., & Liu, J. (2015). The capacity of greening roof to reduce stormwater runoff and pollution. *Landscape and Urban Planning*, 144, 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.017>
- Zhou, Q. (2014). A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts. *Water (Switzerland)*, 6(4), 976–992. <https://doi.org/10.3390/w6040976>
- Zhu, Z. (2017). Evaluating the effects of low impact development practices on urban flooding under different rainfall intensities. *Water (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/w9070548>
- Zhu, Z., Chen, Z., Chen, X., & Yu, G. (2019). An assessment of the hydrologic effectiveness of low impact development (LID) practices for managing runoff with different objectives. *Journal of Environmental Management*, 231(April 2018), 504–514. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.046>
- Zumrawi, M. M. E. (2016). Investigating surface drainage problem of roads in Khartoum state. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(3), 91–103. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23546.77769>