



IMPLEMENTASI DESAIN SUMUR RESAPAN DINDING PORUS UNTUK MEREDUKSI LIMPASAN PERMUKAAN DI KAMPUS I UNIVERSITAS NEGERI MALANG MENGGUNAKAN SOFTWARE EPA SWMM

Asa Faidho Rizkia Fahmi¹ dan Eko Setyawan²

¹*Universitas Negeri Malang, asa.faidho.2005236@students.um.ac.id*

²*Universitas Negeri Malang, eko.setyawan.ft@um.ac.id*

Abstrak: Pertumbuhan pesat aktivitas perkotaan, termasuk di institusi pendidikan seperti Universitas Negeri Malang, telah mengurangi kapasitas resapan air hujan dan meningkatkan limpasan permukaan, yang berpotensi menyebabkan banjir. Di Kampus I Universitas Negeri Malang, keterbatasan kapasitas sistem drainase memerlukan solusi berbasis infrastruktur hijau untuk mengelola limpasan secara efektif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang model dan dimensi sumur resapan dinding porus yang sesuai serta menentukan jumlah dan distribusinya menggunakan perangkat lunak EPA SWMM 5.2. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan mengumpulkan dan menganalisis data numerik sebagai dasar pengambilan keputusan. Analisis hidrologi diawali dengan perhitungan debit limpasan berdasarkan data curah hujan maksimum dari empat stasiun terdekat menggunakan Metode Rasional. Model sumur resapan dirancang dengan mengacu pada standar dan teori peresapan terdahulu, sementara data primer mengenai permeabilitas tanah diperoleh melalui uji *Falling Head Permeability Test*. Data sekunder, seperti jenis tanah, tata guna lahan, dan kondisi saluran drainase, dikumpulkan dari penelitian sebelumnya. Pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak EPA SWMM 5.2, memanfaatkan fitur LID (*Low Impact Development*) untuk menganalisis *node flooding* serta mengevaluasi efektivitas sistem sumur resapan dalam mengurangi limpasan permukaan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain sumur resapan dinding porus yang optimal untuk diterapkan di Kampus I Universitas Negeri Malang sebagai strategi pengelolaan air hujan yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: Sumur Resapan, Dinding Porus, Limpasan Permukaan, EPA SWMM.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan perkembangan perkotaan di Asia Tenggara telah menyebabkan peningkatan ekstraksi air tanah yang signifikan, dengan penurunan mencapai 113-510 juta meter kubik per tahun (Bierkens & Wada, 2019). Seiring dengan meningkatnya aktivitas urbanisasi dan industrialisasi, konversi lahan untuk pembangunan infrastruktur semakin meluas, mengurangi kapasitas daerah resapan air hujan. Akibatnya, limpasan permukaan meningkat dan risiko banjir semakin tinggi, terutama di daerah padat penduduk serta kawasan dengan infrastruktur yang berkembang pesat (Tamelan et al., 2023). Institusi pendidikan, seperti kampus perguruan tinggi, juga menghadapi tantangan serupa karena keterbatasan lahan dan kebutuhan pembangunan yang terus meningkat untuk mendukung aktivitas akademik (Haris & Ernawati, 2013).

Universitas Negeri Malang, sebagai salah satu institusi pendidikan di Kota Malang, menghadapi permasalahan serupa dalam sistem drainasenya. Berdasarkan studi hidrologi oleh Rahman, dkk. (2023), Kampus I Universitas Negeri Malang dengan luas 463.992 m² memiliki kebutuhan tampungan drainase sebesar 10.167 m³, sedangkan kapasitas drainase yang tersedia hanya mampu menampung 8.069 m³. Hal ini menyebabkan limpasan air yang tidak tertampung mencapai 1.558 m³,

dengan debit banjir sebesar 335.016 m³/jam. Oleh karena itu, diperlukan solusi berbasis infrastruktur hijau yang mampu mengelola air hujan secara efektif tanpa memerlukan lahan tambahan yang luas. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah sistem sumur resapan, yang berfungsi untuk mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan infiltrasi air hujan ke dalam tanah (Sarbidi, 2014).

Dibandingkan dengan sistem drainase lainnya, seperti kolam retensi atau *rainwater harvesting*, sumur resapan dinilai lebih efektif dan efisien dalam mengelola limpasan permukaan. Sistem penampungan air hujan membutuhkan lahan yang luas, sementara sistem pemanfaatan air hujan memerlukan teknologi pengolahan yang kompleks dan biaya tinggi (Tumpu, 2022). Sumur resapan memiliki keunggulan karena konstruksinya relatif sederhana dan tidak membutuhkan lahan besar. Selain itu, penerapan sumur resapan dengan dinding porous dapat meningkatkan efisiensi infiltrasi tanpa menghambat aliran air secara signifikan (Aprilliani, 2018). Menurut teori Sunjoto (2009), efektivitas sumur resapan dalam mereduksi limpasan permukaan bergantung pada keseimbangan antara debit resapan (Q_i) dan debit limpasan (Q_r). Perancangan sumur resapan yang optimal harus memperhitungkan faktor hidrologi, seperti karakteristik tanah dan curah hujan, serta faktor hidrolika, seperti kapasitas infiltrasi dan dimensi sumur. Untuk menghasilkan desain yang lebih akurat, diperlukan metode perhitungan yang mempertimbangkan kondisi eksisting secara komprehensif. Perangkat lunak pemodelan, seperti EPA SWMM (*Environmental Protection Agency – Storm Water Management Model*), dapat digunakan untuk menganalisis interaksi antara sistem drainase dan peresapan air secara lebih rinci. Dengan fitur *Low Impact Development* (LID), software ini memungkinkan simulasi yang lebih akurat terkait efektivitas sumur resapan dinding porous dalam mengurangi limpasan permukaan (Rossman & Simon, 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan efektivitas pemodelan EPA SWMM dalam perancangan infrastruktur pengelolaan air hujan. Studi oleh Haqqin, dkk. (2023) menunjukkan bahwa implementasi sumur resapan menggunakan fitur LID pada EPA SWMM 5.1 mampu mereduksi limpasan air hujan sebesar 25–40%. Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan kondisi hidrologi dan keterbatasan lahan di Kampus I Universitas Negeri Malang, penelitian ini akan berfokus pada implementasi desain sumur resapan dinding porous sebagai solusi pengelolaan air hujan menggunakan perangkat lunak EPA SWMM 5.2. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh rancangan sumur resapan yang optimal untuk mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan kapasitas resapan air di lingkungan kampus.

2. METODE PENELITIAN

2.1 LOKASI

Lokasi Penelitian berada di lingkungan perguruan tinggi Universitas Negeri Malang yang beralamat di Jalan Semarang No. 5 Kelurahan Sumbersari, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur. Data lokasi yang ditinjau meliputi peta area kampus, peta tata guna lahan, serta denah jaringan drainase eksisting kampus.

Menurut peta rencana tata ruang wilayah Kota Malang tahun 2010 – 2030, Wilayah Kampus I Universitas Negeri Malang yang terletak di Kelurahan Sumbersari, memiliki risiko bencana banjir yang tinggi sehingga diperlukan kajian

mendalam terkait infrastruktur pengelolaan air hujan. Peta lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Area Universitas Negeri Malang

2.2 DATA YANG DIPERLUKAN

Berikut ini terdapat beberapa data yang diperlukan untuk penelitian ini:

1. Data koefisien permeabilitas tanah Kampus I Universitas Negeri Malang (Pengujian Data Primer Permeabilitas Tanah).
2. Data curah hujan berasal dari stasiun hujan Sukun, Dau dan Blimbing tahun 2014 – 2023 (Dinas Pekerjaan Umum, Jawa Timur)
3. Data curah hujan Stasiun Hujan Lab Hidrologi UB 2014 – 2023 (Lab Hidrologi Teknik Pengairan Universitas Brawijaya)
4. Peta tata guna lahan Kampus I Universitas Negeri Malang (Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Negeri Malang).
5. Peta jenis tanah Kampus I Universitas Negeri Malang (Ansyorie & Suhardi, 2024)
6. Data saluran drainase eksisting Kampus I Universitas Negeri Malang (Rahman et al., 2023)

2.3 METODE

Perhitungan analisis hidrologi menggunakan Metode Rasional dibantu dengan perangkat lunak simulasi hidrologi EPA SWMM 5.2 untuk mensimulasikan kejadian hujan maksimum pada lokasi studi. Berikut beberapa metode analisa penelitian yang dilakukan:

1. Pengujian permeabilitas tanah lokasi studi didapat melalui hasil tes permeabilitas tanah dengan Metode *Falling Head Permeability Test* yang

dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang.

2. Analisis curah hujan wilayah dengan metode *Poligon Thiessen*.
3. Uji konsistensi data menggunakan metode RAPS (*rescaled adjusted partial sums*).
4. Analisis frekuensi dan probabilitas dengan melakukan uji sebaran terlebih dahulu untuk parameter distribusi *Gumbel*, *Normal*, *Log-Normal* dan *Log-Pearson* tipe III untuk memenuhi persyaratan parameter statistik tiap-tiap metode analisis frekuensi, kemudian dilakukan uji statistik pada metode sebaran yang diterima pada uji sebaran sebelumnya.
5. Uji kecocokan distribusi dengan metode *Chi-Square* dan metode *Smirnov-Kolmogorov*.
6. Analisis intensitas hujan metode *Mononobe*.
7. Perhitungan debit limpasan Metode Rasional.
8. Analisis Perhitungan Model dan Dimensi sumur resapan dilakukan sesuai metode peneliti terdahulu yaitu metode *Azizah (2021) & Sunjoto (2009)*.
9. Analisis Jumlah dan Distribusi Sumur Resapan Dinding Porus menggunakan analisa simulasi perangkat lunak EPA SWMM 5.2 menggunakan *tools LID (Low Impact Development)* metode *infiltration trench*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Permeabilitas Tanah

Tujuan dilakukan uji permeabilitas tanah adalah untuk menentukan laju aliran air melalui sampel tanah yang diambil dari enam titik berbeda di empat area berbeda di dalam Kampus I Universitas Negeri Malang. Pengujian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6870:2002 yang mengatur prosedur uji kelulusan air untuk tanah berbutir halus dengan tinggi tekanan menurun. Sampel tanah diambil dari berbagai lokasi untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif mengenai karakteristik permeabilitas tanah di area tersebut. Detail terkait lokasi pengambilan sampel dan area yang ditinjau terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sebaran Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Melalui hasil pengujian dan perhitungan nilai permeabilitas tanah didapat bahwa nilai permeabilitas tanah pada kawasan Kampus I Universitas Negeri Malang termasuk dalam klasifikasi nilai permeabilitas tanah agak cepat (3,6 – 36 cm/jam) yang mana hal ini sesuai dengan persyaratan teknis implementasi sumur resapan sesuai SNI 8456 tahun 2017 dimana minimal struktur tanah wajib mempunyai nilai koefisien permeabilitas tanah > 2 cm/jam. Hasil pengujian permeabilitas tanah pada area kampus I Universitas Negeri Malang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Permeabilitas Tanah Kampus I UM

Kode Area	Nomor Sampel	Koefisien Permeabilitas Tanah (cm/jam)
Area 1	GRACAK-1	3,812
Area 2	GKB-2	3,494
Area 3	FIS-3	3,836
Area 3	GRBSBY-3	3,694
Area 4	PTIK-4	3,711
Area 4	FEB-4	3,713
Rerata Koefisien Permeabilitas Tanah UM		3,710
		~ 0,0000103 m/detik

3.2 Analisis Hidrologi

3.2.1 Analisis Curah Hujan Wilayah

Penelitian ini menggunakan Metode *Poligon Thiessen* untuk menganalisis curah hujan wilayah. Pada penelitian ini, digunakan empat stasiun hujan terdekat dari lokasi studi seperti yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hujan Maksimum Stasiun yang digunakan (mm)

Tahun	Stasiun Hujan Lab Hidrologi UB (PA)	Stasiun Hujan Sukun (PB)	Stasiun Hujan Dau (PC)	Stasiun Hujan Blimbing (PD)
2014	116	134	100	125
2015	111	170	65	96
2016	118	122	75	64
2017	103	132	105	104
2018	111	132	95	97
2019	97	135	93	82
2020	114	125	145	97
2021	90	133	95	123
2022	99	82	105	115
2023	281	134	80	102

Analisis *Poligon Thiessen* menggunakan bantuan perangkat lunak *ArcMap* versi 10.8. Hasil *output* analisis *Arcmap* akan menghasilkan luas daerah pengaruhnya (km²) berdasarkan poligon yang dibentuk mengikuti sebaran koordinat titik stasiun hujan yang ditentukan. Hasil analisis luasan daerah pengaruh seluruh stasiun hujan terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Luas Daerah Pengaruh Stasiun Hujan

No	Stasiun Hujan	Koordinat		Luas (km ²)
		X	Y	
1	LAB HIDROLOGI UB	112,614	-7,952	17,691 (K _A)
2	SUKUN	112,618	-7,996	48,915 (K _B)
3	DAU	112,593	-7,925	8,072 (K _C)
4	BLIMBING	112,644	-7,955	36,399 (K _D)
Total				111,077 (K_{Total})

Berdasarkan luasan daerah pengaruh pada Tabel 3 tersebut, kita dapat tentukan nilai curah hujan maksimum tiap tahun seluruh stasiun hujan dengan merata. Dimana perhitungan curah hujan wilayah menghasilkan nilai curah hujan rata-rata pada lokasi studi sebesar 116,8 mm. Hasil perhitungan hujan rata-rata maksimum *Poligon Thiessen* terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Curah Hujan Maksimum *Poligon Thiessen*

Tahun	P _A .K _A (UB)	P _B .K _B (Sukun)	P _C .K _C (Dau)	P _D .K _D (Blimbing)	P _{max} (mm)
2014	6554,568	807,221	4549,925	2052,130	125,713
2015	8315,497	524,694	3494,343	1963,676	128,723
2016	5967,592	605,416	2329,562	2091,050	98,973
2017	6456,739	847,582	3785,538	1825,688	116,276
2018	6456,739	766,860	3530,742	1963,676	114,497
2019	6603,483	750,715	2984,751	1707,160	108,448
2020	6114,336	1170,470	3530,742	2016,748	115,526
2021	6505,653	766,860	4477,127	1592,170	120,113
2022	4011,004	847,582	4185,931	1751,387	97,193
2023	6554,568	645,777	3712,739	4975,354	143,040
Rerata (\bar{x})					116,850

3.2.2 Uji Konsistensi Data

Pengujian konsistensi data dilakukan menggunakan Metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Pada pengujian ini, tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 90%, 95%, dan 99%. Hasil analisis uji konsistensi data curah hujan dengan metode RAPS disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji RAPS

α	Q/n ^{0.5} Kritis	R/n ^{0.5} Kritis	Q/n ^{0.5} Hitung	R/n ^{0.5} Hitung	Keterangan (Q / R Hitung ≤ Q / R Kritis)
99%	1,29	1,38			Konsisten
95%	1,14	1,28	0,635	0,621	Konsisten
90%	1,05	1,21			Konsisten

Berdasarkan Tabel 5, data curah hujan dinyatakan valid pada semua tingkat kepercayaan yang diuji (90%, 95%, dan 99%). karena nilai $Q/n^{0.5}$ dan $R/n^{0.5}$ hitung tidak melebihi nilai kritis pada berbagai tingkat kepercayaan.

- Pada tingkat kepercayaan 90%, nilai kritis untuk $Q/n^{0.5}$ adalah 1,05 dan untuk $R/n^{0.5}$ adalah 1,21. Karena $Q = 0,635 < 1,05$ dan $R = 0,621 < 1,21$. maka data dinyatakan konsisten.
- Pada tingkat kepercayaan 95%, nilai kritis untuk $Q/n^{0.5}$ adalah 1,14 dan untuk $R/n^{0.5}$ adalah 1,28. Karena $Q = 0,635 < 1,14$ dan $R = 0,621 < 1,28$ data tetap konsisten.
- Pada tingkat kepercayaan 99%, nilai kritis untuk $Q/n^{0.5}$ adalah 1,29 dan untuk $R/n^{0.5}$ adalah 1,38. Dengan hasil $Q = 0,635 < 1,29$ dan $R = 0,621 < 1,38$, data juga dinyatakan konsisten.

3.2.3 Analisis Frekuensi dan Probabilitas

Analisis frekuensi dan probabilitas dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan empat metode statistik, yaitu *Normal*, *Log-Normal*, *Gumbel*, dan *Log-Pearson* Tipe III. Sebelum melakukan analisis frekuensi, langkah awal yang penting adalah melakukan uji sebaran data seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Sebaran

Distribusi	<i>Normal</i>		<i>Log-Normal</i>		<i>Gumbel</i>		<i>Log-Pearson</i> Tipe III
	Cs	Ck	Cs	Ck	Cs	Ck	Cs
Syarat	0	3	2	4	1,14	5,4	≠ 0
Hasil	0,3	4,2	0,055	3	0,3	4,2	0,055
Ket	Tidak Memenuhi		Tidak Memenuhi		Tidak Memenuhi		Memenuhi

Berdasarkan Tabel 6, distribusi *Log-Pearson* tipe III **memenuhi** persyaratan uji sebaran data sesuai dengan persyaratan uji parameter statistik ($Cs = 0,055$), sedangkan ketiga metode lain seperti distribusi *Normal*, *Log-Normal* dan *Gumbel* tidak memenuhi syarat uji sebaran karena nilai *skewness* dan kurtosis yang belum mendekati persyaratan distribusi.

Karena distribusi *Log-Pearson* tipe III memenuhi persyaratan uji sebaran, maka perhitungan curah hujan dalam satuan milimeter (mm) dengan periode kala ulang (2, 5, 10, 25,50 dan 100 tahun) dapat dilakukan sesuai pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Analisis Frekuensi Curah Hujan Log Pearson Tipe III

<i>Log-Pearson</i> Tipe III		
Tr (tahun)	KTr	RTr (mm)
100	2,366	153
50	2,083	148
25	1,770	143
10	1,287	135
5	0,839	128
2	-0,009	116

3.2.4 Uji Kecocokan Distribusi

(1) Metode *Chi-Square*

Uji *Chi-Square* digunakan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipilih mampu menggambarkan distribusi statistik dari sampel data analisa. Uji distribusi metode *Chi-Square* terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Uji Kecocokan Distribusi Metode *Chi-Square*

Kelas	KTR	RTR	Nilai Batas	Tiap Kelas	Ei	Oi	$((Ei-Oi)^2)/Ei$	
1	0,842	128,17	>	128,17	2	2	0	
2	0,132	117,94	117,94	-	128,17	2	2	0
3	-0,776	106,04	106,04	-	117,94	2	4	2
4	-1,734	94,78	94,78	-	106,04	2	2	0
5	-2,286	88,84	<	88,84	2	0	2	
Jumlah					10	10	4	
						X²	4	
						Xh²	5.991	
Mewakili								

Pembagian data pengamatan dapat disesuaikan dengan jumlah kelas distribusi ($K = 5$) sehingga pengambilan *Chi-Kritis* (Xh^2) dapat ditentukan sesuai dengan derajat kepercayaan chi-square, didapatkan nilai *Chi-Kritis* (Xh^2) = 5,991 untuk $dk = 2$ dan $\alpha = 5\%$. Karena *Chi-Hitung* ($X^2 = 4$) < *Chi-Kritis* ($Xh^2 = 5,991$), maka persamaan distribusi metode *Chi-Square* untuk curah hujan rancangan metode *Log-Pearson* tipe III **dapat diterima**.

(2) Metode *Smirnov-Kolmogorov*

Uji kecocokan non parametrik atau *Smirnov-Kolmogorov* tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu sehingga dapat ditentukan derajat kepercayaan atau signifikansi sesuai Tabel nilai kritis *Smirnov-Kolmogorov* menggunakan nilai kritis 5%. didapatkan nilai $\Delta p_{kritis} = 0,410$. Dengan demikian intepretasi uji kecocokan didapatkan dengan hasil $\Delta p_{max} < \Delta p_{kritis}$. Hasil perhitungan uji kecocokan distribusi metode *Smirnov-Kolmogorov* pada metode sebaran *Log-Pearson* tipe III, Terdapat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Uji Kecocokan Distribusi Metode *Smirnov-Kolmogorov*

No.	Tahun	Rmax	Ri	P (A)	f (t) (B)	P' (C)	ΔP (D)
1	2014	125,713	143,040	0,091	1,905	0,020	0,071
2	2015	128,723	128,723	0,182	0,864	0,181	0,001
3	2016	98,973	125,713	0,273	0,645	0,244	0,029
4	2017	116,276	120,113	0,364	0,237	0,387	0,023
5	2018	114,497	116,276	0,455	-0,042	0,536	0,082
6	2019	108,448	115,526	0,545	-0,096	0,558	0,013
7	2020	115,526	114,497	0,636	-0,171	0,587	0,049
8	2021	120,113	108,448	0,727	-0,611	0,746	0,018
9	2022	97,193	98,973	0,818	-1,301	0,912	0,093
10	2023	143,040	97,193	0,909	-1,430	0,930	0,021
Jumlah			1168,502			Δp_{max}	0,093

No.	Tahun	Rmax	Ri	P (A)	f (t) (B)	P' (C)	ΔP (D)
		Rata - Rata (Rt)	116,850			Δp_{Kritis}	0,410
		Jumlah Data (n)	10			Mewakili	
		Standar Deviasi (Sd)	13,745				

Berdasarkan Tabel 9, Didapatkan hasil Δp_{max} (0,093) < Δp_{Kritis} (0,410). Sehingga data curah hujan metode sebaran *Log-Pearson* tipe III **dapat diterima**.

3.2.5 Analisis Intensitas Hujan

Analisis *Intensity Duration Frequency* (IDF) menggunakan periode ulang 2 tahun pada data curah hujan metode *Log-Pearson* tipe III yang didapat pada analisis frekuensi sebesar 116 mm. Perhitungan analisis terdapat pada Tabel 10.

Tabel 10. Intensitas Hujan *Log-Pearson* tipe III Metode *Mononobe*

T (Menit)	T (Jam)	Periode Ulang (Tahun)		
		2	5	10
5	0,083	210,792	232,817	245,389
10	0,167	132,790	146,666	154,585
20	0,333	83,653	92,394	97,383
40	0,667	52,698	58,204	61,347
60	1	40,216	44,418	46,817
90	1,5	30,691	33,897	35,728
120	2	25,335	27,982	29,493

Mengacu hasil perhitungan pada Tabel 10, didapat bahwa dengan intensitas hujan kala ulang 2 tahun, curah hujan maksimum harian metode *Log-Pearson* tipe III sebesar **116 mm**, menghasilkan intensitas hujan maksimum durasi 2 jam sebesar **25,335 mm**.

3.2.6 Debit Limpasan

Perhitungan debit limpasan dilakukan dengan Metode Rasional. Hasil analisis debit limpasan pada kawasan Kampus I Universitas Negeri Malang terdapat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Analisis Debit Limpasan

Koefisien Limpasan (C) (1)	<i>Mononobe</i> (I) (2)	Luas Kawasan (A) (3)	Metode Rasional (4)	
	mm/jam	km ²	m ³ /deti k	m ³ /ja m
0,95	25,335	0.000552	0,00370	13,306

Mengacu hasil perhitungan pada Tabel 11, didapat bahwa debit limpasan yang terjadi di Kampus I Universitas Negeri Malang sebesar **0,00370 m³/detik** atau **13,306 m³/jam**.

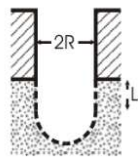
3.3 Analisis Model dan Dimensi Sumur Resapan Dinding Porus

Sumur resapan yang diterapkan pada lokasi studi wajib sesuai dengan standar persyaratan SNI 8456-2017, dimana ukuran sisi penampang sumur resapan air hujan ditentukan sebesar 80 cm sampai dengan 100 cm. Pada penelitian ini, sumur di implementasikan menggunakan konstruksi dinding buis beton porus sesuai katalog SCG beton yang menyediakan material konstruksi sumur resapan dinding porus. Sumur diterapkan dengan pradimensi awal menggunakan diameter 1 meter

($r = 0,5 \text{ m}$) dengan ketebalan beton 9 cm. Pada penelitian ini faktor geometri ditentukan sesuai dengan 4 peneliti berbeda, dimana 2 diantaranya memiliki nilai faktor geometri (F) tertinggi, Sunjoto (2002) menghasilkan nilai faktor geometrik sebesar $F = 4,787 \text{ m}$, sedangkan Azizah (2021) mendapatkan nilai faktor geometrik sebesar $F = 3,243 \text{ m}$.

Sumur model Sunjoto (2002) dan Azizah (2021) masing-masing memiliki elemen dinding porus pada struktur dasar sumur, nilai ketinggian dinding porus (L) ini ditentukan sesuai penelitian Azizah, dimana tinggi efektif untuk dinding porus pada sumur resapan model dinding buis beton sebesar 70 cm. Analisis debit resapan sumur pada 2 model faktor geometri dengan jari-jari sumur (R) sebesar 0,5 m dan tinggi dinding porus (L) sebesar 0,7 m sesuai teori Sunjoto ($Q=F.K.H$) dimana nilai ketinggian muka air tanah (H) didapat dari hasil penelitian Ansyorie (2023) pada area lokasi studi bahwa ketinggian air tanah adalah **4,8 meter**, maka perhitungan debit resapan sumur adalah sebagai berikut:

(a) Debit Resapan Sumur Model Sunjoto (2002)

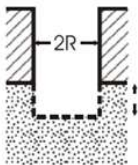


$$Q = F \times K \times H$$

$$Q = 4,787 \text{ m} \times 0,0000103 \text{ m/detik} \times 4,8 \text{ m}$$

$$Q = 0,000237 \text{ m}^3/\text{detik} \sim 0,8525 \text{ m}^3/\text{jam}$$

(b) Debit Resapan Sumur Model Azizah (2021)



$$Q = F \times K \times H$$

$$Q = 3,243 \text{ m} \times 0,0000103 \text{ m/detik} \times 4,8 \text{ m}$$

$$Q = 0,000160 \text{ m}^3/\text{detik} \sim 0,5775 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Untuk mencari kedalaman optimal sumur resapan dinding porus, Maka formula yang digunakan adalah formula Sunjoto (2009) dengan asas keseimbangan dinamik dan cara integrasi untuk sumur kosong (*Hollow Well*), dengan T atau durasi dominan hujan (j) disesuaikan dengan peneliti terdahulu yaitu 5 jam.

(a) Kedalaman Optimal Sumur Model Sunjoto (2002)

$$H = \frac{Q}{F \cdot K} \left[1 - \exp\left(\frac{-F \cdot K \cdot T}{\pi \cdot R^2}\right) \right]$$

$$H = \frac{0,8525 \text{ m}^3/\text{jam}}{4,787 \text{ m} \times 0,0000103 \text{ m/s}} \left[1 - \exp\left(\frac{-4,787 \text{ m} \times 0,0000103 \text{ m/s} \times 5 \text{ jam}}{\pi \cdot 0,5^2}\right) \right]$$

$$H = 3,251 \text{ m}$$

(b) Kedalaman Optimal Sumur Model Azizah (2021)

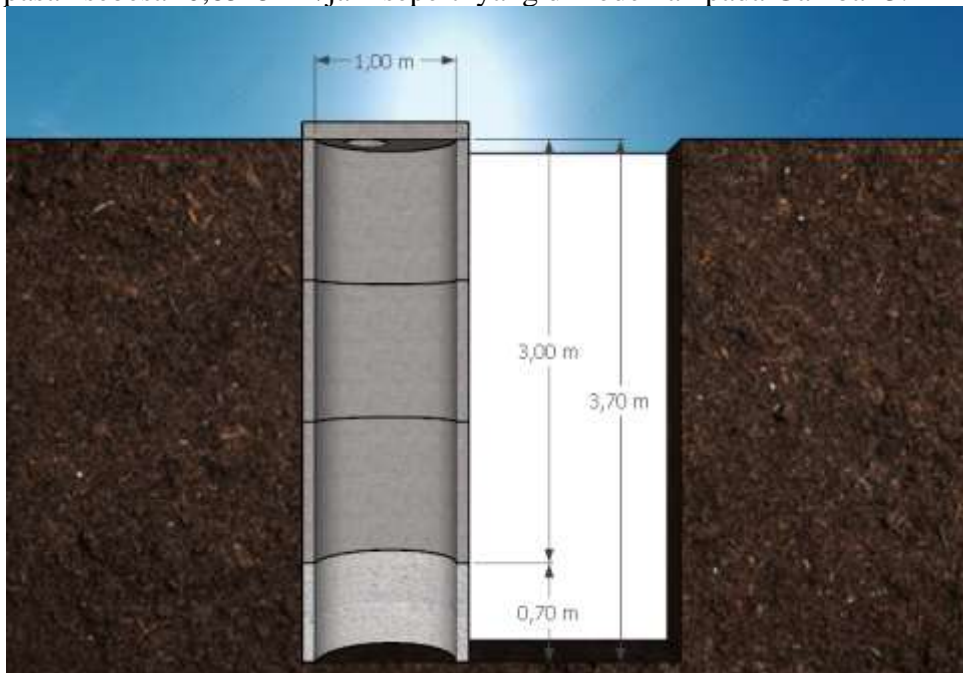
$$H = \frac{Q}{F \cdot K} \left[1 - \exp\left(\frac{-F \cdot K \cdot T}{\pi \cdot R^2}\right) \right]$$

$$H = \frac{0,5575 \text{ m}^3/\text{jam}}{3,243 \text{ m} \times 0,0000103 \text{ m/s}} \left[1 - \exp\left(\frac{-3,243 \text{ m} \times 0,0000103 \text{ m/s} \times 5 \text{ jam}}{\pi \cdot 0,5^2}\right) \right]$$

$$H = 2,569 \text{ m}$$

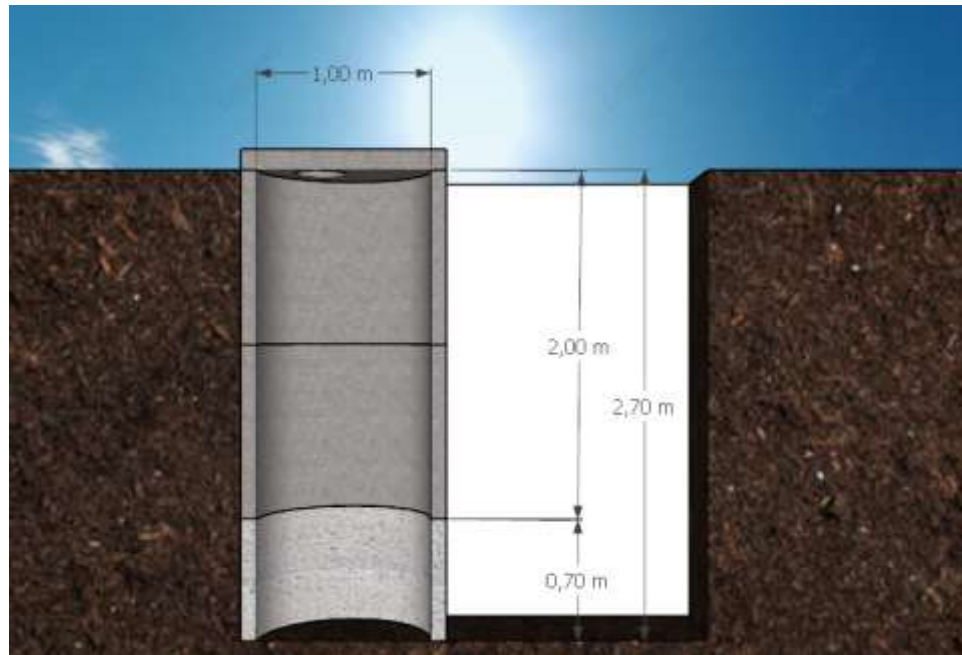
Berdasarkan hasil perhitungan ketinggian sumur (H) diatas, didapatkan hasil bahwa sumur resapan dinding porous dengan lebar penampang 1 meter menggunakan metode Sunjoto memiliki kedalaman optimal sebesar 3,2 meter, lebih dalam dibanding menggunakan metode Azizah yang optimal pada kedalaman 2,5 meter.

Model sumur Sunjoto (2002) dan model sumur Azizah (2021), merupakan kedua model sumur yang cocok untuk di implementasikan desain konstruksinya di lokasi studi yaitu Kampus I Universitas Negeri Malang, Model Sunjoto (2002) dengan diameter 1 meter ditentukan menggunakan kedalamam 3,7 meter (3 meter buis beton konvensional + 0,7 meter buis beton porous) yang mampu meresapkan limpasan sebesar $0,8525 \text{ m}^3/\text{jam}$ seperti yang dimodelkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Sumur Resapan Model *Sunjoto*

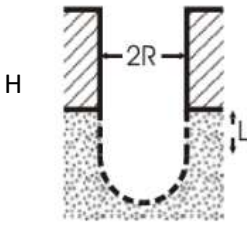
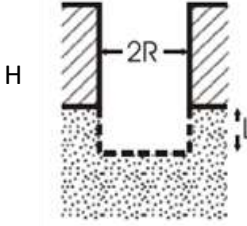
Sedangkan jika menggunakan model sumur resapan model Azizah (2021) dengan diameter 1 meter kedalaman 2,7 meter (2 meter buis beton konvensional, + 0,7 meter buis beton porous), yang mampu meresapkan limpasan sebesar $0,5775 \text{ m}^3/\text{jam}$ seperti yang dimodelkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain Sumur Resapan Model Azizah

Walaupun model Sunjoto memiliki kapasitas resapan yang lebih besar, model Azizah lebih efisien dari segi konstruksi dan kepraktisan. Model Sunjoto memerlukan dasar sumur berbentuk setengah lingkaran vertikal (huruf U) dengan kedalaman 3,7 meter, sedangkan model Azizah menggunakan dasar sumur rata yang lebih dangkal dengan kedalaman 2,7 meter, sehingga lebih mudah mplementasikan seperti yang terdapat pada Tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan Konstruksi Sumur Model Azizah & Sunjoto

Konstruksi & Model Sumur yang Diterapkan	Kedalaman Sumur (H)	Diameter Sumur (R)	Debit Resapan yang dapat ditampung (Q_{Sumur})
 Sunjoto (2002)	3,7 meter	1 meter	0,8525 m ³ /jam
 Azizah (2002)	2,7 meter	1 meter	0,5775 m ³ /jam

Dengan lebar penampang 1 meter, model Azizah membutuhkan susunan tiga buis beton (dua konvensional dan satu porus) per unit. Model ini juga mampu meresapkan debit limpasan utama kampus sebesar 13,306 m³/jam. Untuk mendukung pelaksanaan, model Azizah dirancang menggunakan buis beton SCG, dilengkapi dengan penutup, pelat, sistem pipa PVC berdiameter 4 inci, dan bak kontrol sesuai standar SNI 8456-2017. Dengan mempertimbangkan efisiensi resapan, kemudahan konstruksi, dan kesesuaian dengan standar SNI, model Azizah lebih cocok diterapkan di Kampus I Universitas Negeri Malang sebagai solusi untuk mengatasi limpasan permukaan.

3.4 Analisis Distribusi dan Jumlah Sumur Resapan Dinding Porus

Pada tahap awal analisis hidrolika berbasis perangkat lunak, dilakukan pemodelan sistem drainase lokasi studi. Proses ini bertujuan untuk merepresentasikan sistem hidrologi dan drainase secara realistis ke dalam perangkat lunak analisis hidrolika. Detail pemodelan sistem drainase kampus UM dalam EPA SWMM 5.2.

Hasil simulasi menunjukkan pola limpasan permukaan, kapasitas saluran, dan titik-titik kritis genangan air di area studi. Dengan menggunakan perangkat lunak simulasi hidrolik berbasis EPA SWMM 5.2, Hasil ini divisualisasikan melalui tabel dan grafik yang menjelaskan aliran di tiap saluran. Setelah proses *running* selesai, didapat hasil *Continuity error* baik pada *Surface Runoff* dan *Flow Routing* yang memiliki nilai yang stabil yaitu antara 0,00 % - 0,18 %, nilai *error* yang mendekati nol merupakan indikator bahwa model SWMM yang dibuat telah menggambarkan kondisi hidrologi lokasi studi secara akurat. Berdasarkan simulasi awal, ditemukan 3 titik kritis saluran drainase yang tidak memadai untuk menyalurkan air hujan pada lokasi studi, seperti yang digambarkan dengan titik lokasi terjadinya banjir pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Titik Lokasi Banjir Pada *Node Flooding* yang tampil pada hasil simulasi drainase eksisting tidak mampu mengalirkan seluruh aliran stream curah hujan. Noda banjir atau titik terjadinya banjir dari hasil simulasi perangkat lunak EPA SWMM 5.2 terdapat pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Analisis Hidrologi Kampus I Universitas Negeri Malang

Hasil Simulasi EPA SWMM Sebelum Diterapkan Sumur Resapan			
<i>Flooding Location</i>	J4 (Graha Cakrawala)	J46 (FEB)	J64 (Gerbang Surabaya)
<i>Flow Rate (cm/s)</i>	0,077	0,209	0,26
<i>Time of Overflow (Local Time : WIB)</i>	14.00	13.58	14.00
<i>Duration of Overflow (Hours)</i>	0,055	0,98	1,00
<i>Flood Volume (m³)</i>	58	380	140

Dengan total volume banjir (*Flood Volume*) sebesar 578 m³ yang tersebar pada Tiga titik banjir diatas, maka titik lokasi tersebut akan digunakan sebagai titik implementasi sumur resapan dinding porus model Azizah (2021). Namun jumlah dan pembagiannya akan ditentukan dengan perhitungan berikut:

Jumlah kebutuhan sumur resapan model Azizah (2021) dihitung dengan menggunakan Rumus Sunjoto (2009) sesuai persyaratan SNI 8456 tahun 2017 dimana Q (Debit) yang digunakan merupakan debit limpasan (Qr) pada lokasi studi yaitu **13,306 m³/jam**.

$$H = \frac{Q}{F.K} \left[1 - \exp\left(\frac{-F.K.T}{\pi.R^2}\right) \right]$$

$$H = \frac{13,190 \text{ m}^3/\text{jam}}{3,243 \text{ m} \times 0,0000103 \text{ m/s}} \left[1 - \exp\left(\frac{3,243 \text{ m} \times 0,0000103 \text{ m/s} \times 5 \text{ jam}}{\pi.0,5^2}\right) \right]$$

$$H = 58,66 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil tersebut, Dapat dibuat **24 buah sumur** dengan kedalaman (H) = 2,7 meter (2 meter dinding buis beton konvensional + 0,7 meter dinding buis beton porus), Diameter 1 meter. sesuai formula SNI 8456 tahun 2017 seperti pada perhitungan dibawah.

$$0,5775 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ buah} = \mathbf{13,860 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

Total implementasi sumur resapan dinding porus model Azizah (2021) sebanyak 24 buah dapat menampung seluruh debit limpasan pada kawasan kampus I Universitas Negeri Malang sesuai hasil analisis debit limpasan pada Kawasan Kampus I UM (**13,860 m³/jam > 13,306 m³/jam**).

Untuk membagi jumlah sumur ke tiga lokasi berbeda berdasarkan debit banjir, metode yang dapat digunakan adalah **metode pembagian proporsional**. Jumlah sumur di setiap lokasi dihitung berdasarkan proporsi debit banjir masing-masing lokasi terhadap total debit banjir. Berikut langkah-langkah perhitungannya:

1. Hitung proporsi debit banjir (*Flood Volume*) sesuai pada Tabel 13, untuk setiap lokasi terhadap total debit banjir:

$$\text{Proporsi Lokasi} = \frac{\text{Debit Banjir Lokasi}}{\text{Total Debit Banjir}}$$

$$\text{Graha Cakrawala UM} = \frac{58 \text{ m}^3}{578 \text{ m}^3} = 0,1003$$

$$\text{Fakultas Ekonomi dan Bisnis UM} = \frac{380 \text{ m}^3}{578 \text{ m}^3} = 0,6574$$

$$\text{Gerbang Surabaya UM} = \frac{140 \text{ m}^3}{578 \text{ m}^3} = 0,2423$$

2. Kalikan proporsi tersebut dengan total jumlah sumur (24 buah) untuk menentukan jumlah sumur di setiap lokasi:

$$\text{Jumlah Sumur Lokasi} = \text{Proporsi Lokasi} \times 24$$

$$\text{Graha Cakrawala UM} = 0,1003 \times 24 = 2,4 \sim 2 \text{ buah}$$

$$\text{Fakultas Ekonomi dan Bisnis UM} = 0,6574 \times 24 = 15,7 \sim 16 \text{ buah}$$

$$\text{Gerbang Surabaya UM} = 0,2423 \times 24 = 5,8 \sim 6 \text{ buah}$$

Distribusi sumur resapan dinding porus pada Kawasan Kampus I Universitas Negeri Malang dimodelkan sesuai Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi Sumur Resapan di Kampus I Universitas Negeri Malang

Alat bantu LID (*Low Impact Development*), yakni fitur *Infiltration Trench*, yang merepresentasikan sumur resapan sebagai infrastruktur pengelolaan air hujan dapat memberikan hasil bahwa penerapan **24 buah** sumur resapan dinding porus model Azizah (2021) pada 3 titik banjir (Graha Cakrawala, FEB, Gerbang Surabaya) menunjukkan hasil noda banjir (*node flooding*) hanya tersisa pada 1 titik saja dengan volume banjir yang sangat kecil ($0,000 \text{ m}^3$, atau dianggap tidak terjadi banjir sama sekali). Penurunan limpasan yang dapat direduksi sumur model Azizah (2021) adalah sebesar 106,255 mm atau setara dengan 10,62 cm, sesuai hasil simulasi LID *Infiltration trench* pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Analisis Reduksi Limpasan Sumur Resapan Model Azizah

Hasil Simulasi EPA SWMM Setelah Diterapkan Sumur Resapan Model Azizah (2021) Pada Analisis LID	
<i>Flooding Location</i>	J46 (FEB)
<i>Flow Rate (cm/s)</i>	0,005
<i>Time of Overflow (Local Time : WIB)</i>	14.00

<i>Duration of Overflow (Hours)</i>	0,01
<i>Flood Volume (m³)</i>	0,000
<i>Surface Runoff (mm)</i>	106,255

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- (1) Model dan dimensi sumur resapan dinding porus yang cocok diimplementasikan di Kampus I Universitas Negeri Malang untuk mereduksi limpasan permukaan adalah model *Azizah* yang dirancang dengan diameter 1 meter menggunakan konstruksi dasar sumur rata pada kedalaman 2,7 meter terdiri atas kombinasi buis beton konvensional setinggi 2 meter dan buis beton porus setinggi 0,7 meter.
- (2) Berdasarkan analisis menggunakan perangkat lunak EPA SWMM versi 5.2, diperlukan sebanyak 24 sumur resapan dinding porus di Kampus I Universitas Negeri Malang, dengan distribusi proporsional sumur sebagai berikut: 2 sumur di Graha Cakrawala, 16 sumur di Fakultas Ekonomi dan Bisnis, dan 6 sumur di Gerbang Surabaya UM. Penerapan sistem ini mampu mereduksi limpasan permukaan pada Kampus I Universitas Negeri Malang sebesar 13,306 m³/jam.

Berdasarkan keseluruhan penelitian ini, menghasilkan saran sebagai berikut:

- (1) Kampus I Universitas Negeri Malang diharapkan dapat mengadopsi hasil penelitian ini sebagai pedoman dalam merencanakan dan membangun sistem pengelolaan limpasan permukaan berupa sumur resapan dinding porus.
- (2) Aspek pemeliharaan sumur resapan perlu diperhatikan untuk memastikan kinerjanya tetap optimal dalam mereduksi limpasan permukaan. pemeliharaan yang sistematis, seperti pembersihan sedimentasi, dan pengecekan penyumbatan penting dilakukan agar sumur resapan dapat berfungsi secara efektif.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Apriliani, T., Yulistiyorini, A., Idfi, G. (2018). Injection well as an eco-drainage solution to reduce surface run-off at the State University of Malang. MATEC Web Conference, 204.
- Barid, dkk., 2007, Kajian Unit Resapan Dengan Lapisan Tanah dan Tanaman dalam Menurunkan Limpasan Permukaan, Teknik Keairan, Vol, 13.
- Bierkens, M. F. P., & Wada, Y. (2019). Non-renewable groundwater use and groundwater depletion: A review. Environmental Research Letters, 14(6).
- Das, B. M. (2008). Advanced Soil Mechanics (3rd ed.). Taylor & Francis.
- Fahmi, M. B., Noerhayati, E., & Rachmawati, A. (2018). Model sumur resapan dengan peresapan dasar rata di Desa Sukolilo Kecamatan Jabung - Kabupaten Malang. Jurnal Rekayasa Sipil, 6(1).
- Haqqin, S. K., Runi A., & Linda P., (2023). Penanganan Genangan Berbasis Konservasi pada Kelurahan Arjowinangun Kota Malang. Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air, 4(1), 137–150.
- Harris, S., & Ernawati, A. (2013). Pengaruh Keberadaan Kampus Universitas Indraprasta PGRI Terhadap Perkembangan Wilayah Kecamatan Jagakarsa Jakarta Selatan. Faktor Exacta (Vol. 6, Issue 1), hal 51-69.

Live and Applied Science, Volume 5

- Hartini, E. 2017. Hidrologi & Hidrolika Terapan. Universitas Dian Nuswantoro. Semarang.
- Hastuti, E., & Nuraeni, R. (2017). Pendekatan Sanitasi untuk Pemulihan Kondisi Air Tanah di Perkotaan Studi Kasus : Kota Cimahi, Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(1).
- Muntaha, Y., Prayogo, T. B., & Yuliani, E. (2022). Permodelan Sumur Resapan Inovatif untuk Konservasi Air Tanah Permeabilitas Rendah Daerah Kota Malang. *Jurnal Teknik Pengairan*, 13(1), hal 36–47.
- Piasecki, A., Hancz, G., Kaźmierczak, B. & Górski, Ł. (2023). Rainwater management in urban areas in Poland and Hungary. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, 62(62): 153-166.
- Prawaka, et al., Analisis Data Curah Hujan Yang Hilang Dengan Menggunakan Metode Normal Ratio, Inversed Square Distance, Dan Cara Rata-Rata Aljabar (Studi Kasus Curah Hujan Beberapa Stasiun Hujan Daerah Bandar Lampung). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, vol. 4, no. 3, Sep. 2016.
- Rahman, M. A., Dewi, V. A. K., Dewi, M. S. S., Sulistiyorini, A., Rahayuningsih, T., & Setyawan, E. (2023). Meningkatkan ketahanan lingkungan melalui evaluasi sistem drainase di Kampus 1 Universitas Malang.
- Rokhmawati, A., Suhardjono, S., Andawayanti, U., & Juwono, P. T. (2021). Model faktor geometrik sumur resapan berdasarkan faktor tinggi dinding porus dan jari-jari sumur (Thesis (Doktor), Universitas Brawijaya). Universitas Brawijaya Repository.
- Rossmann, L. A., & Hubert, W. C. (2016). Storm Water Management Model Reference Manual, Volume I – Hydrology (Revised). National Risk Management Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, OH.
- Rossmann, L. A., & Simon, M. A. (2022). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2 (EPA-600/R-22/030). U.S. Environmental Protection Agency, Center for Environmental Solutions and Emergency Response, Office of Research and Development.
- Sanusi, W. (2016). Analisis homogenitas data curah hujan tahunan Kota Makassar. *Jurnal Scientific Pinisi*, 2(2), 137–142. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar.
- Sarbidi. (2014). Kriteria desain sub-reservoir air hujan menunjang drainase ramah lingkungan. *Jurnal Standardisasi*, 16(2), 85–94. Pusat Litbang Permukiman, Balitbang Kementerian Pekerjaan Umum.
- Soewarno. 1995. Hidrologi Metode Statistik Analisa Data. Bandung : Nova
- Sri Harto, BR. (1993). Analisis Hidrologi. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Sunjoto, K. (2009). Pembangunan Sumberdaya Air Dalam Dimensi Hamemayu Hayuning Bawono (R. Janary & Y. Ardiansyah, Eds.). Hasta Cipta Mandiri.
- Suripin. (2001). Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. ANDI Offset, Yogyakarta.
- Suripin. (2004). Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. ANDI Yogyakarta.
- Tamelan, P. G., Kapa, M. M. J., & Nendissa, D. R. (2023). Pembuatan sumur resapan air hujan untuk konservasi air tanah Kelurahan Namosain Kota Kupang. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Nusa Cendana Kupang*, 3(2), 40-45.

Live and Applied Science, Volume 5

- Triatmodjo, B. 2008. Hidrologi Terapan. Yogyakarta : Beta Offset.
- Tumpu, M., dkk. (2022). Sumur Resapan. CV. Tohar Media.
- Vasconcelos, A.F., Ferreira, T.S., dos Santos, M.F.N., Barbassa, A.P. (2019). Modeling Infiltration Wells in SWMM and Comparing Its Performance with a Real-Scale Well. In: Mannina, G. (eds) New Trends in Urban Drainage Modelling. UDM 2018. Green Energy and Technology. Springer, Cham.
- Wei, T. C., McGuinness, J. L., & United States Department of Agriculture. (1973). Reciprocal distance squared method, a computer technique for estimating areal precipitation. (U.S. Dept. of Agriculture)
- Widyawati, D., Yuniarti, D., & Goejantoro, R. (2020). Analisis distribusi frekuensi dan periode ulang hujan (Studi kasus: Curah hujan Kecamatan Long Iram Kabupaten Kutai Barat Tahun 2013-2017). Jurnal EKSPONENSIAL, 11(1).