

PEMODELAN SISTEM RESAPAN AIR HUJAN DAN LIMBAH AIR WUDHU DI AREA MASJID

(Recharge System Modeling of Rain and Ablution Waste In Mosque Area)

Radius Pranoto¹, Andrijanto², Debby Rahmawati³

¹Politeknik Negeri Sriwijaya

^{2,3}Universitas Nusa Putra Sukabumi

Korespondensi Penulis: Perum Srijaya. Block A1. No.18. RW.04/RT.01. Desa Sako, Ilir Barat

E-mail: radiuspranoto@gmail.com

ABSTRACT

As already known, one alternative to solve run-off problem is by recharging the water into soil by mean of adiffusion system. This way can be expected to be able to conserve ground water. This research was aimed to model a diffusion system conserving rainfall runoff and ablution waste from the mosque of Al-Wasi'i of Lampung University. This research was conducted from July to September 2011. Experiment data used in the modeling consisted of a week daily ablution waste discharged from the mosque, percolation rate, surface evaporation. The ablution waste data was collected both on and off semesters. Percolation rates of three location sites around the mosque were measured by using double ring infiltrometer. Surface evaporations were measured by constructing a 30x30x45 cm glass container simulating a runoff collector. The actual evaporation was then used to calibrate the constant (K) by comparing with the Penmann reference evapotranspiration (ET_o). The contant was then validated by another group of actual evaporation data. In addition to the experimental data, a 10 year daily climatological data was also used and collected from the nearest weather station. The model consisted of input components: praying ablution wsate, runoff from the mosque's roof, direct rainfall, and output components: overflow, evaporation, and percolation. The model simulated daily up and down water surface of the diffusion system. The result showed that there were three different percolation rates from three diferent locations, but the stable rate of 1666.12 mm/day was more likely representative and used in this model. Based on the simulation, diffusion system of 3 m depth and 8 m² area could conserve the water by 70%.

Keyword: diffusion system, percolation rate, rainfall run-off, ablution waste, double ring infiltrometer and simulation

PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu, peran dan fungsi masjid-masjid di Indonesia telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Selain sebagai tempat ibadah secara khusus, mayoritas masjid telah bertransformasi menjadi pusat kegiatan belajar, organisasi, seminar, kajian, pelatihan dan lain-lain bagi umat islam. Selain itu, masjid juga menjadi tempat pilihan untuk wisata religi, refreshing bahkan piknik bagi keluarga atau masyarakat. Hal ini tentu akan berpengaruh terhadap kebutuhan air bersih, karena setiap aktivitas yang berhubungan dengan ibadah di masjid biasanya selalu membutuhkan air bersih. Secara umum, penggunaan air bersih sehari-hari di masjid adalah untuk kebutuhan wudhu, MCK dan kebersihan masjid.

Peningkatan jumlah jamaah pengguna masjid dan pola penggunaan air yang tidak efisien secara otomatis akan meningkatkan jumlah konsumsi air bersih (Hidayati 2017). Selama ini mayoritas masjid-masjid di kota besar mencukupi kebutuhan air bersih dengan cara pengeboran

dan pemompaan air tanah. Meskipun cara ini menjadi pilihan utama, namun kendala membutuhkan biaya yang relatif mahal dan pengeboran sumur pompa juga mempunyai keterbatasan baik secara kuantitas maupun kontinuitasnya. Selain itu, pengambilan air tanah secara berlebih tanpa mempertimbangkan kesetimbangan air tanah akan memberikan dampak lain seperti penurunan muka tanah (Triadi et al. 2009). Menurut Sudarto (2015) jika pengambilan air tanah telah sampai pada keadaan yang melebihi daya dukung yang dapat dipasok oleh akuifer, maka dapat terbentuk kerucut-kerucut penurunan muka air tanah (*groundwater depression cone*). Jika pemompaan terus meningkat, maka kerucut muka air tanah semakin dalam dan meluas, bahkan tidak menutup kemungkinan air tanah akan habis (Hermawan 2008).

Melihat besarnya peran dan fungsi air bersih serta untuk mengantisipasi semakin menipisnya cadangan air tanah khususnya di lingkungan masjid, maka sistem pengelolaan dan konservasi air harus mendapat perhatian yang serius. Salah satu metode yang ditawarkan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan meresapkan limpasan air hujan dan limbah air wudhu melalui sistem resapan (*diffusion system*). Sistem resapan merupakan sebuah konstruksi lubang galian pada tanah dengan bentuk dan ukuran tertentu yang untuk menampung dan meresapkan air hujan maupun air buangan/ limbah, guna mempertahankan atau menaikkan muka air tanah untuk daerah yang elevasi muka air tanahnya cukup dalam (Indramaya et al. 2013, Iriani et al. 2013 dan Rusli 2008). Perancangan sumur resapan dilakukan berdasarkan prinsip keseimbangan air/kontinuitas antara air yang masuk ke dalam sumur dengan air yang meresap ke dalam tanah. Salah satu pemanfaatan sumur resapan ini dapat dilakukan untuk area masjid (Yunianto 2018).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di lingkungan Masjid Al-Wasi'i Universitas Lampung pada bulan Juli - September 2015.

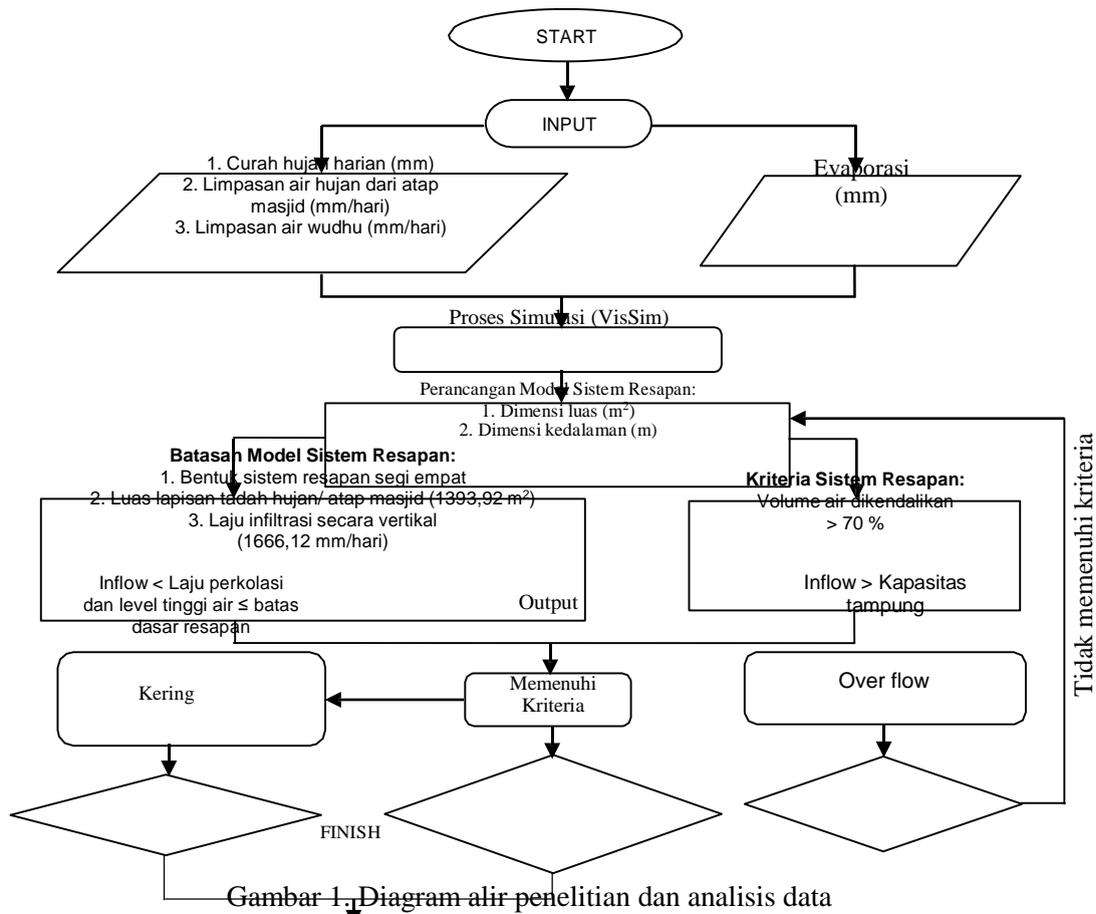
Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat personal komputer yang dilengkapi dengan MS.Office 2007 dan program aplikasi *VisSim (Visual Simulation)*, alat-alat ukur sederhana dan kelengkapannya, seperti : double ring infiltrometer, mistar panjang, bak besar, panci evaporasi, gelas ukur, stop watch, selang.

Bahan yang digunakan adalah data iklim dari BMKG Raden Intan Bandar Lampung (10 tahun), yaitu data curah hujan harian, kecepatan angin, suhu, kelembaban udara, data laju perkolasi lokasi penelitian, dan volume limbah air wudhu harian.

Prosedur Penelitian dan Analisis Data

Prosedur analisis data dalam penelitian ini terdiri dari; (1).pengukuran laju infiltrasi, (2).pengukuran evaporasi, (3).pengumpulan dan penghitungan data curah hujan, (4).penghitungan debit input, (5).simulasi menggunakan *VisSim*, dan (6). analisis sensitivitas sistem resapan. Diagram alir tahapan penelitian dan analisis data dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian dan analisis data

Pengukuran Laju Perkolasi

Pengukuran laju perkolasi dilakukan dengan menggunakan *double ring infiltrometer* (infiltrometer ring ganda). Alat ini memiliki tinggi 40 cm, diameter cincin luar 52 cm dan diameter cincin dalam 28 cm. Pengukuran dilakukan pada 3 titik yang berbeda dengan sebaran lokasi yang representatif. Laju perkolasi yang diukur adalah laju penurunan air pada ring bagian dalam, sedangkan ring bagian luar berfungsi sebagai batas dari tanah sekitar yang lebih kering dan mencegah peresapan air dari silinder bagian dalam (Gambar 2).

Pengukuran dilakukan dengan cara menekan ring infiltrometer kedalam tanah sedalam ± 30 m. Kemudian air dituangkan ke dalam ring luar dan dalam sampai penuh dan tunggu sampai air tersebut seluruhnya terinfiltrasi untuk menghilangkan retakan-retakan tanah akibat penekanan. Air dituangkan kembali kedalam silinder sampai penuh (kedalaman sekitar 10 cm). Setelah air penuh, stopwatch dinyalakan, dan air di diamkan sampai habis (kedalaman 0 cm). Waktu penurunan tinggi muka air yang terjadi dicatat. Pengukuran dilakukan terus menerus, sampai didapatkan laju penurunan tinggi muka air yang relatif konstan.



Gambar 2. Pengukuran perkolasi dengan double ring infiltrometer

Selanjutnya hasil pengukuran laju perkolasi dihitung dan dianalisis menggunakan persamaan Horton berikut.

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

f = laju perkolasi pada saat t (cm/jam)

f_c = laju perkolasi saat t konstan (cm/jam)

f_o = laju perkolasi t awal (cm/jam)

k = konstanta

t = waktu

Pengukuran Evaporasi

Laju evaporasi diukur dengan bak yang terbuat dari kaca berbentuk segi empat dengan ukuran panjang 30 cm, lebar 30 cm dan tinggi 45 m dan dilengkapi dengan mistar ukur dengan panjang 60 cm (Gambar 3). Evaporasi diukur dengan cara menghitung selisih tinggi muka air pada hari tertentu (T_{A_i}) dengan hari sebelumnya (T_{A_{i-1}}).



Gambar 3. Pengukuran evaporasi

Hasil pengukuran evaporasi aktual tersebut kemudian dikalibrasi dengan evaporasi prediksi (Es) pada waktu yang sama antara keduanya. Untuk mendapatkan nilai yang saling mendekati besarnya antara evaporasi hasil pengukuran dengan evaporasi prediksi (error terkecil), maka dilakukan modifikasi terhadap koefisien evaporasi dengan menambahkan parameter yang berpengaruh terhadap pengukuran evaporasi di lapangan, seperti: kecepatan angin (U_2), kelembaban udara rata-rata (RH_{rata}), suhu udara maksimum (T_{max}), suhu udara minimum (T_{min}) dan radiasi sinar matahari (R_n). Evaporasi prediksi pada sistem resapan dihitung dengan persamaan:

$$E_s = K_m \times E_{To} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

E_s = Evaporasi prediksi sistem resapan (mm/hari)

K_m = Koefisien evaporasi modifikasi

E_{To} = vapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari)

Koefisien evaporasi dikalibrasi dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$K_m = 1,05 - 0,05*(U_2-2) - 0,001*(RH_{rata} - 45) - 0,001*(T_{max} - T_{rata}) - 0,024*(R_n) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

K_m = Koefisien evaporasi modifikasi

U_2 = Kecepatan angin harian (m/s)

RH_{rata} = Kelembaban udara rata-rata harian (%)

T_{max} = Suhu udara maksimum harian ($^{\circ}C$)

T_{rata} = Suhu udara rata-rata harian ($^{\circ}C$)

R_n = Radiasi matahari harian ($MJm^{-2}/ hari$)

Untuk menguji keandalan koefisien evaporasi (K_m) digunakan indikator kesalahan *Root Means Square Error* (RMSE) yang dirumuskan sebagai berikut (Willmott 2005).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - E_{pred})^2} \dots\dots\dots(4)$$

Debit Input Sistem Resapan

Debit air yang akan dimasukkan ke dalam sistem resapan berasal dari limpasan air hujan yang jatuh di atap Masjid Al-Wasi'i dan volume limbah air wudhu ditambah dengan curah hujan yang langsung jatuh ke sistem resapan. Besarnya debit input yang berasal dari atap masjid dihitung dengan persamaan 5.

$$H_T = \frac{C \times R \times A}{L} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

H_T = Tinggi limpasan curah hujan dari limpasan atap masjid (mm)

R = Curah hujan harian (mm/hari)

L = Luas model sistem resapan yang direncanakan (mm^2)

C = Koefisien aliran pada permukaan atap masjid

A = Luas atap masjid (mm^2)

Sedangkan debit input dari limbah air wudu dihitung dengan persamaan 6 berikut.

$$T_T = \frac{n \times V}{L} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

T_T = Tinggi volume limbah air wudhu yang dikendalikan (mm)

n = Jumlah rata-rata jama'ah pemakai air wudhu
setiap harinya

V = Volume air rata-rata yang dibutuhkan per
orang untuk kebutuhan berwudhu (mm³)

Simulasi dan Perancangan Dimensi Sistem Resapan

Simulasi dilakukan dengan cara menghitung jumlah air yang masuk dan meresap ke dalam sistem resapan dan besarnya limpasan air yang meluap (over flow) dan menguap dari sistem resapan. Fluktuasi air dalam sistem resapan dihitung dengan model persamaan berikut:

$$\frac{\Delta}{\Delta t} = (T_{(T-1)} + H_T + T_T + R) - (I + E + OF) \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

$\frac{\Delta}{\Delta t}$ = Perubahan tinggi air dalam sistem resapan terhadap waktu (mm/hari)

$T_{(T-1)}$ = Tinggi air dalam tampungan 1 hari sebelumnya (mm)

H_T = Tinggi limpasan hujan melalui atap masjid (mm)

T_T = Tinggi volume limbah air wudhu yang dikendalikan (mm)

R = Tinggi curah hujan harian yang langsung jatuh ke dalam system resapan (mm)

I = Laju perkolasi (mm)

E = Evaporasi rata-rata harian (mm)

OF = Over flow/ volume air yang meluap dari sistem resapan (mm).

Untuk mengetahui besarnya air yang dapat dikendalikan dengan sistem resapan dihitung dengan Persamaan 7:

$$Q_0 = \frac{\text{Inflow} - \text{Over flow}}{\text{Inflow}} \times 100 \% \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

Q_0 = Persentase volume air yang dapat dikendalikan (%)

Inflow = Banyaknya air yang masuk ke dalam sistem resapan (m³)

Over flow = Banyaknya air yang meluap dari sistem resapan (m³)

Analisis Sensitivitas Relatif pada Sistem Resapan

Analisis sensitivitas pada sistem resapan adalah suatu analisis untuk dapat melihat dan memprediksi pengaruh perubahan laju perkolasi terhadap volume air yang dapat dikendalikan oleh sistem resapan. Untuk menghitungnya dapat digunakan persamaan berikut:

$$S = \frac{\frac{\Delta L}{L}}{\frac{\Delta I}{I}} \dots\dots\dots(9)$$

$$I_1 = (I - X\%) \text{ dan } I_2 = (I + X\%) \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

- S = Nilai sensitivitas relatif
- L = Volume air dikendalikan pada perkolasi awal
- L₁ = Volume air dikendalikan pada laju perkolasi turun
- L₂ = Volume air dikendalikan pada laju perkolasi naik
- I = Laju perkolasi awal (mm/hari)
- I₁ = Laju perkolasi turun X %
- I₂ = Laju perkolasi naik X %
- X = Perubahan laju perkolasi i (%)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Laju Perkolasi Sistem Resapan

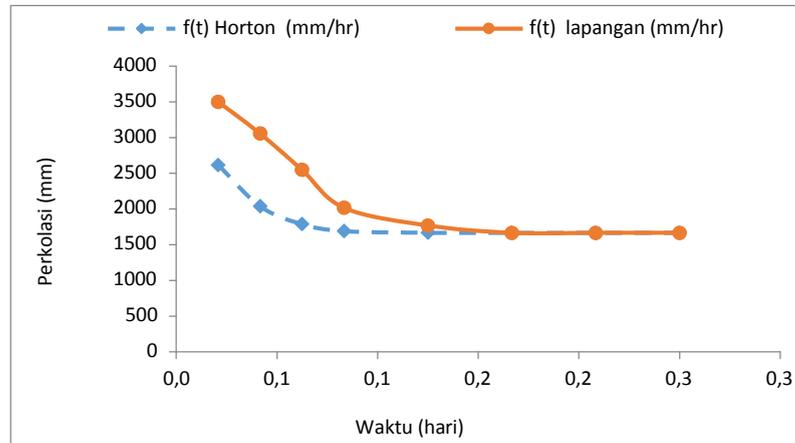
Laju perkolasi di lokasi penelitian diukur menggunakan *double ring infiltrometer*. Pengukuran dilakukan secara berulang dalam rentang waktu tertentu untuk mendapatkan nilai laju perkolasi tetap (konstan). Dari hasil pengukuran diketahui bahwa laju perkolasi mengalami penurunan signifikan seiring dengan meningkatnya intensitas waktu percobaan. Hal ini menunjukkan adanya penambahan debit air secara berulang-ulang ke dalam infiltrometer menyebabkan laju perkolasi atau kemampuan tanah dalam meresapkan air semakin menurun. Setelah sekitar 6 jam atau 360 menit dari pengukuran didapatkan laju perkolasi konstan, yaitu sebesar 1666,12 mm atau sekitar 1,67 m. Hasil pengukuran dan perhitungan perkolasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran dan perhitungan laju perkolasi

No	Waktu (menit)	Waktu (hari)	Perkolasi lapangan (mm)	f - f _c	Log (f - f _c)	(-k*t)	Perkolasi Horton (mm)	EXP (-k*t)
1	30	0.02	3500.60	183.48	3.26	-0.66	2616.64	0.52
2	60	0.04	3054.55	1388.43	3.14	-1.32	2038.87	0.27
3	90	0.06	2545.85	879.73	2.94	-1.97	1788.49	0.14
4	120	0.08	2016.00	349.88	2.54	-2.63	1691.33	0.07
5	180	0.13	1768.42	102.31	2.01	-3.95	1668.10	0.02
6	240	0.17	1666.10	-0.02	#NUM!	-5.26	1666.12	0.01
7	300	0.21	1666.12	0.00	#NUM!	-6.58	1666.12	0.00
8	360	0.25	1666.12	0.00	#NUM!	-7.89	1666.12	0.00

k = -31.56

Hasil yang sama juga diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan persamaan Horton. Nilai perkolasi konstan ini yang akan digunakan dalam simulasi dengan asumsi bahwa sistem resapan memiliki kemampuan infiltrasi yang sama dengan laju perkolasi hasil pengukuran di lokasi penelitian. Besarnya laju perkolasi hasil pengukuran dan perhitungan metode Horton bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan laju perkolasi lapangan dan Horton

Hasil Simulasi Air dalam Sistem Resapan

Perubahan tinggi air dalam sistem resapan sangat dipengaruhi oleh besarnya tinggi limpasan air hujan dan air wudhu yang masuk ke dalam sistem (inflow) dan laju infiltrasi. Pada hari pertama, tinggi air dalam sistem resapan diasumsikan penuh. Untuk hari selanjutnya, sistem resapan mempunyai volume yang sama dengan hari sebelumnya dan ditambah dengan debit input (limpasan air hujan dan air wudhu) dan dikurangi dengan volume air yang terinfiltrasi atau meresap.

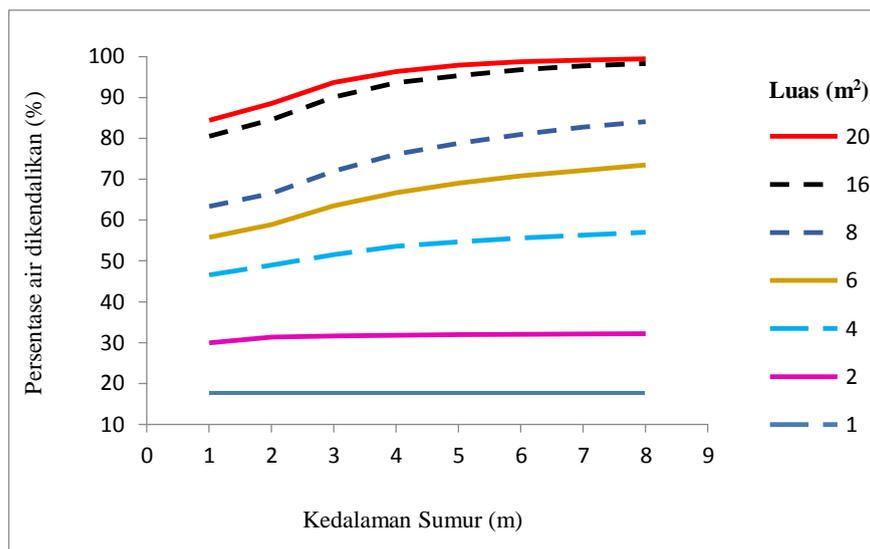
Tabel 2. Fluktuasi air dalam sistem resapan

Fluktuasi Air (hari)	Luas	Kedalaman							
		1,5 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m
Over flow		3243	3243	3243	3243	3243	3243	3243	3243
Terisi	1 m ²	408	409	409	409	409	409	409	409
Kering		1	0	0	0	0	0	0	0
Over flow		2246	1959	1919	1915	1910	1909	1903	1902
Terisi	2 m ²	1153	1585	1654	1674	1692	1700	1715	1721
Kering		253	108	79	63	50	43	34	29
Over flow		1078	950	873	837	809	794	779	761
Terisi	4 m ²	1781	2002	2182	2316	2396	2450	2492	2545
Kering		793	700	597	499	447	408	381	346
Over flow		737	668	577	520	474	446	433	408
Terisi	6 m ²	1789	1937	2154	2300	2413	2495	2544	2608
Kering		1126	1047	921	832	765	711	675	636
Over flow		586	519	412	356	319	277	247	236
Terisi	8 m ²	1760	1875	2097	2242	2336	2422	2485	2523
Kering		1306	1258	1143	1054	997	953	920	893
Over flow		282	220	135	85	64	47	33	26
Terisi	16 m ²	1811	1899	2040	2120	2158	2192	2211	2223
Kering		1559	1533	1477	1447	1430	1413	1408	1403
Over flow		222	171	89	53	33	23	17	10
Terisi	20 m ²	1789	1870	1982	2038	2076	2089	2100	2108
Kering		1641	1611	1581	1561	1543	1540	1535	1534
Jumlah hari		3652	3652	3652	3652	3652	3652	3652	3652

Ketika terjadi hujan, maka limpasan air hujan dari atap masjid masuk ke dalam sistem resapan. Begitu juga pada saat proses berwudhu terjadi, maka limpasan limbah air wudhu akan masuk ke dalam sistem resapan. Jika debit input (air hujan dan limbah air wudhu) lebih besar daripada volume tampungan dan laju perkolasi sistem resapan, maka akan terjadi luapan air keluar dari sistem resapan (over flow) dan pada saat ini volume sistem resapan akan terisi penuh sesuai dengan kedalamannya. Sebaliknya, apabila debit input (air hujan dan limbah air wudhu) lebih kecil daripada volume tampungan sistem resapan, maka tinggi air sama dengan tinggi debit input dikurangi perkolasi sistem resapan. Namun, apabila volume air hujan dan limbah air wudhu yang masuk lebih kecil daripada laju perkolasinya dan tinggi level air kurang dari batas dasar sistem resapan, maka akan terjadi kekeringan/ kekosongan dalam sistem resapan. Adapun untuk keperluan kepraktisan penelitian dan memperhatikan ketersediaan media atau lahan untuk sistem resapan, maka dalam penelitian ini ada beberapa ukuran dimensi sistem resapan yang direncanakan yaitu dengan luas (1 - 20 m²) dan kedalamannya adalah (1,5 - 8 m). Tabel 2 menunjukkan hasil simulasi dalam sistem resapan.

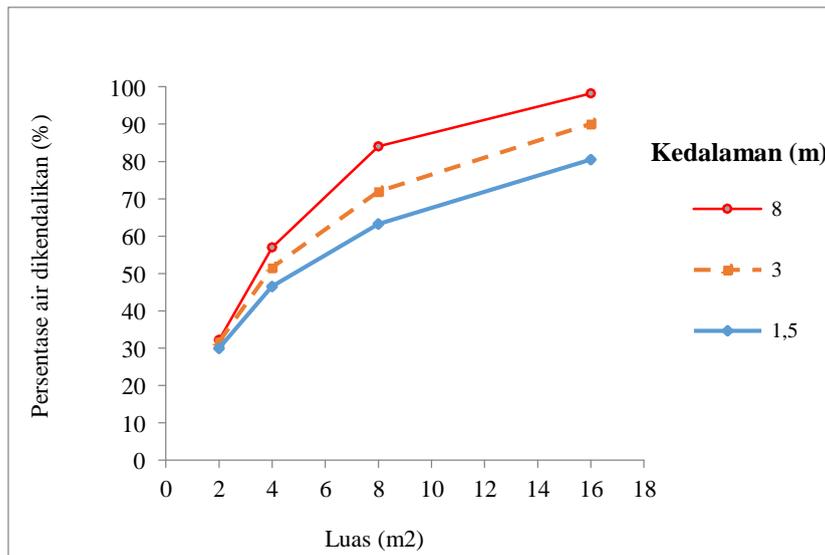
Persentase Debit Air Dikendalikan

Besarnya persentase air yang dapat dikendalikan menunjukkan efektivitas sistem resapan, semakin besar persentase air yang dapat ditampung dan diresapkan oleh sistem resapan, maka semakin baik efektivitas suatu sistem resapan. Dari Gambar 5 diketahui bahwa persentase air yang dikendalikan meningkat jika ukuran dimensi luas dan kedalaman sistem resapan diperbesar. Sebagai contoh sistem resapan dengan dimensi kedalaman 3 m dan luas 8 m² mampu mengendalikan air sebesar 71,96 % dari total limpasan air hujan dan air wudhu yang terjadi dan sistem resapan mengalami luapan air sebanyak 412 hari, kering 1143 hari dan terisi air 2097 hari. Hasil dari semua sistem resapan dengan dimensi luas 8 m² dan kedalaman 1,5 – 8 m memiliki kemampuan mengendalikan air rata-rata 75,56 %. Jika dimensi sistem resapan pada kedalaman tetap 3 m dan luas diperbesar menjadi 16 m², maka persentase air yang dapat dikendalikan menjadi 90,07 % dan pada sistem resapan ini terjadi luapan air sebanyak 135 hari, kering 1477 hari dan terisi air 2040 hari.

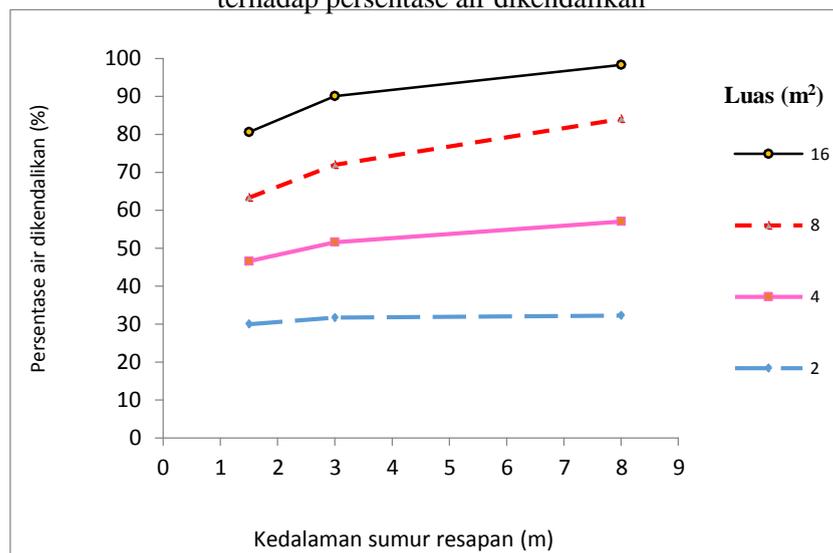


Gambar 5. Perubahan tinggi air harian selama 10 tahun pada sistem resapan

Sedangkan , jika luasnya tetap 8 m² dan yang diperbesar adalah kedalamannya menjadi 6 m maka maka persentase air yang dapat dikendalikan menjadi 81,00 % dan pada sistem resapan ini terjadi luapan air sebanyak 277 hari, kering 953 hari dan terisi air tanpa meluap selama 2422 hari. Sistem resapan dengan dimensi luas 20 m² dan kedalaman 8 m menunjukkan persentase pengendalian air dengan hasil terbesar yaitu 98,26 % dan pada sistem resapan ini terjadi luapan air sebanyak 10 hari, kering 1534 hari dan terisi air tanpa meluap selama 2108 hari. Hasil sebaliknya ditunjukkan pada sistem resapan dengan dimensi luas 1 m² dan kedalaman (1,5 - 8 m). Semua sistem resapan dengan dimensi ini menunjukkan persentase pengendalian air sebesar 16,27 % dan fluktuasi perubahan tinggi air yang sama, yaitu luapan air terjadi sebanyak 3243 hari, sumur terisi air tanpa meluap selama 409 hari dan sistem resapan ini tidak pernah kering, kecuali pada kedalaman 1,5 m terjadi kekeringan 1 hari dan terisi air tanpa meluap selama 408 hari.



Gambar 6. Hubungan penambahan ukuran luas sistem resapan (L) terhadap persentase air dikendalikan



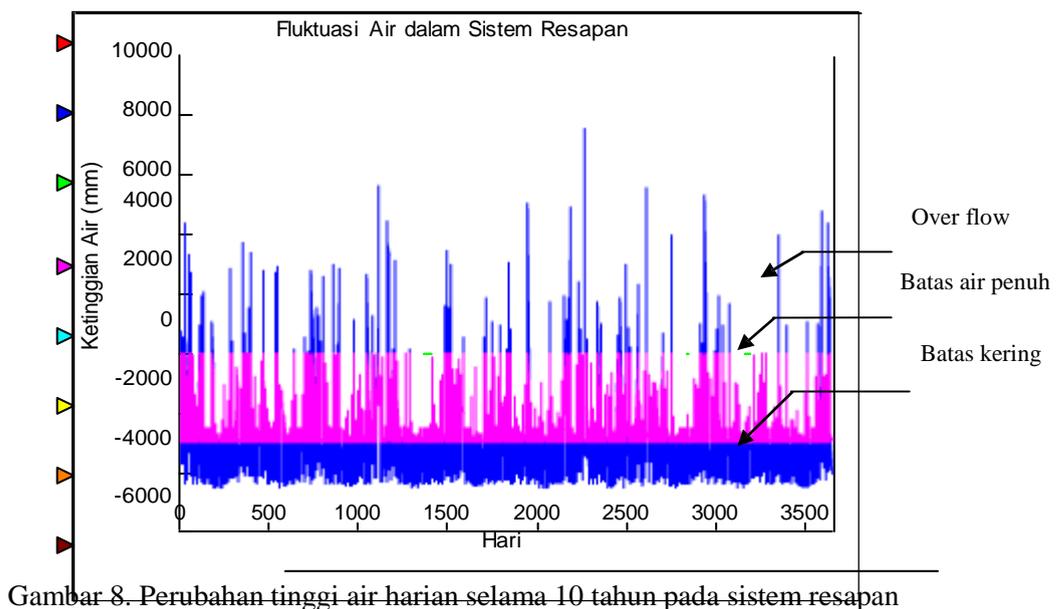
Gambar 7. Hubungan penambahan ukuran kedalaman sistem resapan (Hs) terhadap persentase air dikendalikan

Dari hasil simulasi diketahui fluktuasi air berbeda-beda dalam setiap model sistem resapan. Ukuran dimensi sistem resapan berkorelasi negatif terhadap jumlah hari air meluap dari sistem resapan (over flow), semakin besar ukuran dimensi luas dan kedalaman sistem resapan maka luapan air yang terjadi semakin kecil dan sedikit. Sedangkan, jumlah hari sistem resapan terisi air tanpa meluap berkorelasi positif dengan kedalaman sistem resapan, semakin dalam sumur resapan maka jumlah hari sistem resapan terisi air tanpa meluap semakin banyak. Sedangkan lama waktu terjadinya kekeringan dalam sistem resapan berkorelasi positif terhadap luas dan berkorelasi negatif terhadap kedalaman sistem resapan, artinya semakin besar luasan sistem resapan maka akan sering terjadi kekeringan, tetapi apabila kedalaman yang diperbesar maka sistem resapan akan semakin jarang kekeringan. Hasil ini menunjukkan bahwa ukuran dimensi (luas dan kedalaman) sistem resapan mempengaruhi fluktuasi air dalam sistem resapan.

Penambahan dimensi luas menghasilkan persentase pengendalian air yang lebih besar daripada penambahan dimensi kedalaman sistem resapan. Sebagai contoh Gambar 6, sistem resapan pada kedalaman (1,5, 3, 8 m) apabila dimensi luas sumur resapan tersebut diperbesar dari 2 – 16 m², maka persentase pengendalian air rata-rata akan naik sebesar 15,63 %, sedangkan pada sistem resapan dengan luas (2, 4, 8, 16 m²) jika kedalamannya diperbesar dari 1,5 – 8 m, maka persentase pengendalian air rata-rata meningkat sebesar 6,40 %. Dengan kata lain penambahan ukuran dimensi luas dapat meningkatkan pengendalian air 9,23 % lebih besar daripada penambahan ukuran dimensi kedalaman sistem resapan. Hal tersebut dapat pula ditunjukkan dengan lebih curamnya kurva pada Gambar 6 dibandingkan kurva pada Gambar 7.

Penentuan Letak dan Dimensi Sistem Resapan

Hasil analisis menunjukkan bahwa model sistem resapan yang sesuai untuk diterapkan di Masjid Al-Wasi'i adalah sistem resapan dengan dimensi luas (8 m² - 16 m²) dan kedalaman (3 m). Hal ini karena beberapa faktor, yaitu: (1).ketersediaan lahan yang dipilih relatif datar (kemiringan < 2%), (2).kedalaman muka air tanah > 2 m (Suhendra 2004), dan (3).pada ukuran dimensi tersebut kemampuan sistem resapan dalam mengendalikan air cukup baik yaitu antara 70 – 90 %.



Gambar 8. Perubahan tinggi air harian selama 10 tahun pada sistem resapan

Gambar 8 merupakan contoh hasil simulasi sistem resapan dengan luas penampang 16 m² dan kedalaman 3 m. Fluktuasi air dalam sistem resapan merupakan hasil konversi volume limpasan hujan dari atap masjid dan limpasan air wudhu terhadap luas sistem resapan menjadi tinggi air harian (mm/hari). Berdasarkan hasil perhitungan selama waktu 10 tahun diketahui bahwa, sistem resapan mengalami luapan air (over flow) sebanyak 135 hari dengan total volume luapan 3746,81 m³ dan selama 2040 hari sistem resapan selalu terisi air dengan total volume air tertampung 33972,39 m³ dan mengalami kering selama 1477 hari.

Sementara itu, hasil analisis tahunan selama rentang waktu 10 tahun (1999-2008) menunjukkan bahwa volume limpasan total (air hujan dan air wudhu) tertinggi terjadi pada tahun 1999 dengan total 4367,8 m³ dan pada tahun ini sistem resapan paling sering mengalami luapan (over flow) yaitu 19 hari. Hasil sebaliknya terjadi pada tahun 2008, volume limpasan total (air hujan dan air wudhu) terendah yaitu 3222,6 m³ dan jumlah luapan air (over flow) terkecil terjadi pada tahun 2006 dan 2008 yaitu 9 hari. Sedangkan, besarnya air yang meluap tertinggi terjadi pada tahun 2002 dengan total 566,1 m³ dan terendah terjadi pada tahun 2000 dengan total 245,24 m³. Besarnya fluktuasi air tahunan pada sistem resapan berdimensi 16 m² x 3 m dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Fluktuasi air pada sistem resapan dengan luas 16 m² dan kedalaman 3 m

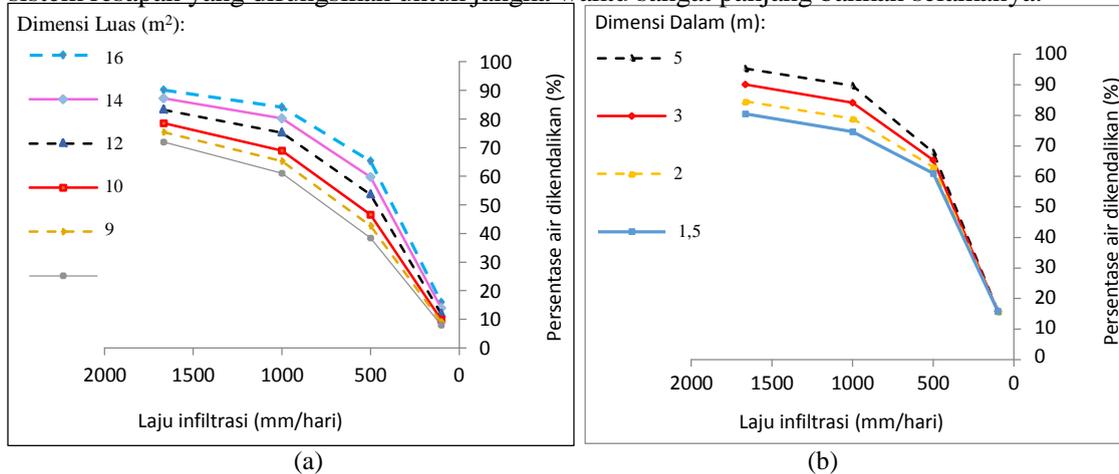
Tahun	Volume limpasan total (m ³ /tahun)	Volume air meluap (m ³ /tahun)	Jumlah hari air meluap (hari/tahun)	Jumlah hari resapan kering (hari/tahun)	Jumlah hari resapan terisi air (hari/tahun)
1999	4367,8	503,38	19	139	207
2000	3750,7	245,24	10	145	210
2001	4097,6	387,23	17	145	203
2002	3742,3	566,10	17	149	199
2003	3751,9	283,98	13	146	206
2004	3547,0	421,07	14	152	199
2005	3971,6	441,35	16	145	204
2006	3511,3	247,56	9	149	207
2007	3747,8	305,13	11	148	206
2008	3222,6	345,77	9	158	198
Total	37710,6	3746,8	135	1476	2041

Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap fluktuasi air dalam sistem resapan (tinggi air dalam sistem resapan, tinggi luapan air/over flow, intensitas terjadinya luapan dan kekeringan) adalah tinggi hujan, intensitas curah hujan dan limpasan air wudhu yang masuk kedalam sistem resapan karena laju perkolasi adalah konstan.

Analisis Sensitivitas Sistem Resapan

Kemampuan sistem resapan dalam mengendalikan air sangat bergantung pada debit limpasan (air hujan dan air wudhu) dan perubahan laju perkolasi dalam sistem resapan tersebut. Hal ini sesuai dengan pendapat Amin (2010), bahwa perancangan sistem resapan dilakukan berdasarkan prinsip keseimbangan air/kontinuitas antara air yang masuk ke dalam sistem resapan dengan air yang meresap ke dalam tanah. Hasil pengukuran debit limpasan air wudhu yang

diperoleh adalah volume rata-rata konstan setiap minggunya, sementara itu debit limpasan curah hujan merupakan faktor yang relatif berubah-ubah setiap harinya. Sedangkan nilai perkolasi yang dipakai dalam penelitian ini adalah hasil pengukuran dan perhitungan laju perkolasi konstan pada lokasi I yaitu 1666,12 mm/hari. Sehingga, jika ditinjau dari efektivitas peresapannya menunjukkan bahwa model sistem resapan yang akan dibuat memiliki efektivitas sangat baik dan terbukti laju perkolasi $f(t) >$ tinggi curah hujan harian. Namun, beberapa hal yang harus diperhatikan dalam adalah adanya faktor-faktor yang menyebabkan kemungkinan menurunnya laju perkolasi sistem resapan tersebut. Pengukuran laju perkolasi di lapangan dilakukan dalam waktu yang sangat singkat yaitu kurang dari 1 hari. Hal ini kurang sesuai dengan prinsip kerja sistem resapan yang difungsikan untuk jangka waktu sangat panjang bahkan selamanya.



Gambar 9. Korelasi penurunan laju infiltrasi terhadap sistem resapan

Dalam waktu beberapa hari sistem resapan difungsikan, diasumsikan laju perkolasi adalah konstan, namun seiring waktu yang terus berjalan kemungkinan akan terjadi pengendapan dan jenuh pada lapisan bawah sistem resapan, sehingga laju perkolasinya akan menurun bahkan suatu saat laju perkolasi bisa mencapai 0 mm/hari. Gambar 9 (a) dan Gambar 9 (b) menunjukkan pengaruh penurunan laju perkolasi terhadap kemampuan sistem resapan dalam mengendalikan air.

Penurunan laju perkolasi berkorelasi positif terhadap volume air yang dapat dikendalikan dan fluktuasi air dalam berbagai model sistem resapan. Sebagai contoh sistem resapan dengan dimensi luas 16 m² dan kedalaman 3 m, penurunan laju perkolasi dari kondisi awal 1666,12 mm/hari menjadi 1000 mm/hari menyebabkan kemampuan dalam mengendalikan air menurun dari 90,7 % menjadi 84,11 %. Pada saat laju perkolasinya turun menjadi 500 mm/hari, maka air yang dapat dikendalikan menjadi 65,33 % dan jika laju perkolasinya turun sampai dengan 100 mm/hari, maka air yang dapat dikendalikan turun menjadi 15,88 %. Untuk berbagai model sistem resapan, persentase air yang dikendalikan mengalami penurunan tertinggi pada saat laju perkolasi 100 mm/hari, sedangkan penurunan terendah terjadi pada saat laju perkolasi 1000 mm/hari. Hal tersebut ditunjukkan dengan lebih curamnya kurva penurunan laju perkolasi 100 mm/hari dibandingkan kurva pada saat laju perkolasi 1000 mm/hari.

Hal ini sesuai dengan pendapat Mahbub (2010), yang mengatakan bahwa laju perkolasi berkurang seiring dengan bertambahnya waktu hingga mendekati nilai yang konstan. Menurutnya penurunan laju perkolasi lebih dikontrol oleh faktor yang beroperasi di permukaan tanah dibanding dengan proses aliran di dalam tanah. Faktor yang berperan dalam penurunan laju

perkolasi seperti penutupan retakan tanah oleh koloid tanah dan pembentukan kerak tanah, penghancuran struktur permukaan lahan dan pengangkutan partikel halus dipermukaan tanah oleh tetesan air hujan. Pernyataan ini diperkuat oleh pendapat Asdak (2002), yang menyatakan bahwa berkurangnya laju perkolasi terjadi karena bertambahnya kadar air dan kelembaban dari air tanah, sehingga menyebabkan butiran tanah berkembang, dengan demikian menutup pori-pori tanah.

Jika ditinjau dari sisi ukuran dimensi sistem resapan, maka pengaruh penurunan laju perkolasi terhadap besarnya air yang dikendalikan lebih sensitif terjadi pada dimensi luas daripada kedalaman sistem resapan. Nilai sensitivitas pada sistem resapan untuk berbagai kedalaman dan luasan tetap, menunjukkan dengan penambahan kedalaman dari (2 – 5 m) pada luasan yang tetap akan berpengaruh terhadap kenaikan nilai sensitivitasnya. Sedangkan nilai sensitivitas pada sistem resapan untuk berbagai luas dan kedalaman tetap, menunjukkan dengan penambahan luas dari (4 – 16 m²) maka nilai sensitivitasnya cenderung semakin kecil (Tabel 4).

Tabel 4. Nilai sensitivitas sistem resapan dalam mengendalikan air pada penurunan laju perkolasi 1 %

Luas sumur	Nilai Sensitivitas relatif			
	Kedalaman			
	2 m	3 m	4 m	5 m
4 m ²	0,38	0,39	0,50	0,54
6 m ²	0,24	0,32	0,35	0,35
8 m ²	0,21	0,25	0,28	0,27
10 m ²	0,16	0,16	0,22	0,18
12 m ²	0,14	0,16	0,13	0,13
14 m ²	0,12	0,09	0,07	0,10
16 m ²	0,05	0,12	0,05	0,10

Penurunan laju perkolasi sebesar 1 % yang terjadi pada sistem resapan akan mengakibatkan volume air yang dapat dikendalikan turun sebesar nilai sensitivitasnya. Penurunan nilai sensitivitas terendah pada sistem resapan untuk berbagai kedalaman terjadi pada dimensi luasan 16 m² untuk kedalaman (2 m dan 4 m) yaitu sebesar (0,05) dan kemudian pada kedalaman (5 m) yaitu sebesar (0,1). Pada kedalaman (3 m) nilai sensitivitas terendah terjadi pada luasan (14 m²) yaitu sebesar (0,09). Sedangkan, penurunan nilai sensitivitas terbesar pada sistem resapan untuk berbagai kedalaman terjadi pada dimensi luasan 4 m² untuk kedalaman 5 m yaitu sebesar (0,54), pada kedalaman (4 m) yaitu sebesar (0,50), pada kedalaman (3 m) yaitu sebesar (0,39) dan pada kedalaman (2 m) yaitu sebesar (0,38).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan
2. didapat laju perkolasi di lokasi (I) adalah 1666,12 mm/hari, di lokasi (II) adalah 317,29 mm/hari dan di lokasi (III) adalah 3113,51 mm/hari.
3. Model sistem resapan yang sesuai diterapkan di Masjid Al-Wasi'i adalah dengan ukuran luas (8 - 16 m²) dan kedalaman (3 m), karena sistem resapan pada dimensi tersebut cukup baik untuk mengendalikan air di atas 70 %.

4. Besarnya volume air yang dapat dikendalikan dalam sistem resapan pada berbagai dimensi luas dan kedalaman sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem resapan dalam meresapkan (perkolasi) air. Korelasi negatif antara dimensi luas sumur resapan dengan nilai sensitivitas menunjukkan bahwa semakin besar dimensi sistem resapan, maka pengaruh penurunan laju perkolasi terhadap volume air yang dapat dikendalikan cenderung semakin kecil.
5. Pada laju perkolasi konstan, fluktuasi air dalam sistem resapan pada berbagai dimensi luas dan kedalaman dipengaruhi oleh tinggi curah hujan harian dan jumlah pemakai air wudhu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh M. 2012. *Studi Kapasitas Debit Air Tanah Pada Akuifer Tertekan Di Kota Malang*. Jurnal Teknik Pengairan. 3(1): 71-80.
- Al Amin B. 2010. *Perancangan Sumur Resapan untuk Konservasi Air Tanah*. <http://baitullah.unsri.ac.id>.
- Asdak. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hermawan, W. 2008. *Penelitian Resapan Buatan Melalui Sumur Dalam Terhadap Air Tanah Terkekang Secara Gravitasi*. Puslitbang Sumber Daya Air. Bandung.
- Hidayati D. 2017. *Memudarnya Nilai Kearifan Lokal Masyarakat dalam Pengelolaan Sumber Daya Air*. Jurnal Kependudukan Indonesia. 11(1). 39-48.
- Indramaya EA, dan Purnama ILS. 2013. *Rancangan Sumur Resapan Air Hujan sebagai Salah Satu Usaha Konservasi Air Tanah di Perumahan Dayu Baru Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta*. Jurnal Bumi Indonesia. 15: 47-54.
- Iriani K, Gunawan A, dan Besperi B. 2013. *Perencanaan Sumur Resapan Air Hujan Untuk Konservasi Air Tanah Di Daerah Permukiman (Studi Kasus Di Perumahan RT. II, III, Dan IV Perumnas Lingkar Timur Bengkulu)*. Inersia, Jurnal Teknik Sipil. 5(1): 9-22.
- Mahbub M. 2010. *Penuntun Praktikum Agrohidrologi*. Ilmu Tanah. Unlam. <http://mmahbub.files.wordpress.com/2010/05/4-hitungro.pdf>.
- Rusli M. 2008. *Desain Sumur Resapan Dengan Konsep Zero Run Off Dikawasan Dusun Jaten Sleman Yogyakarta*. <http://rac.uui.ac.id>.
- Sudarto L. 2015. *Prediksi Penurunan Muka Air Tanah Akibat Pemompaan di Daerah Jogonalan Klaten Jawa Tengah*. Seminar Nasional Informatika (SEMNASIF). (1): 5.
- Suhendra MH. 2004. *Analisis Formasi Lapisan Pembawa Air (Aquifer) di Kawasan Unila*. Skripsi. Unila. Lampung.
- Triadi, Thomas, dan Kristi I. 2009. *Permasalahan Airtanah Pada Daerah Urban*. Teknik. 30(1): 48-57.
- Willmott CJ, & Matsuura K. 2005. *Advantages Of The Mean Absolute Error (MAE) Over The Root Mean Square Error (RMSE) In Assessing Average Model Performance*. Climate research. 30(1): 79-82.
- Yunianto ML. 2018. *Redesain Sistem Drainase dan Desain Sumur Resapan di Universitas Lampung (Studi kasus: Masjid Al-Wasi'i-Tugu UNILA)*. Skripsi. Universitas Lampung. Lampung.