

PENGARUH POLA DAN PANJANG DATA HUJAN TERHADAP DESAIN PENAMPUNGAN AIR HUJAN PADA TIGA STASIUN HUJAN DI INDONESIA

THE INFLUENCE OF RAINFALL OBSERVATION LENGTH AND PATTERNS ON RAINWATER STORAGE DESIGN OF THREE RAINFALL STATIONS IN INDONESIA

Elly Kusumawati Budirahardjo

Perkumpulan Tenaga Profesional Lingkungan Hidup & Sumberdaya (PENAPROLIS)

Jakarta Selatan, Indonesia

Correspondent email: ly80civil@yahoo.com

Diterima: 09 Februari 2022; Direvisi: 02 Maret 2022; Disetujui: 14 November 2022

ABSTRACT

Rainwater Harvesting (RWH) is an alternative water supply system to meet household water demands independently. Rainfall is one of input parameters for RWH design by assuming that evaporation is neglected. This study examines the influence of different rainfall patterns on RWH reservoir's sizing from 3 different rainfall stations in Indonesia. In order to get reliable reservoir design, RWH simulation required long rainfall time series data. However, numbers of rainfall station with long time series data are limited, so the possibility of using shorter rainfall data in the design is examined in this study as well. The effect of rainfall patterns to RWH is analyzed by comparing their reservoir volume. The optimum reservoir is obtained by optimizing time reliability parameters. The length of time series data is analyzed by finding similarities between water savings that simulated with long-term and short-term data series. It can be concluded that rainfall characteristics, namely intensity and number of rainy days, affects RWH reservoir's size. Equatorial and Local rain patterns require smaller reservoir volume than the Monsoon. Short-term series of rainfall data possible to use for designing RWH. The recommended length of time series data is 15 years for Equatorial type, 13 years for Monsoon type and 9 years for Local type. The results of sensitivity analysis show that RWH performance, represent by reservoir reliability parameter, is not sensitive to its input parameters.

Keywords: rainwater harvesting; rainfall pattern; time series; storage performance

ABSTRAK

Penampungan Air Hujan (PAH) merupakan salah satu upaya mandiri untuk memenuhi kebutuhan air rumah tangga. Salah satu parameter input dalam desain PAH adalah hujan, dengan asumsi evaporasi diabaikan. Tiga stasiun hujan di wilayah Indonesia memiliki pola hujan yang berbeda sehingga ingin diketahui sejauh mana pengaruh pola hujan terhadap volume tampungan PAH. Dalam melakukan simulasi tampungan PAH dibutuhkan seri data hujan yang panjang agar hasilnya memiliki tingkat keandalan yang tinggi. Namun tidak semua daerah memiliki seri data hujan yang cukup panjang sehingga ingin dikaji kemungkinan menggunakan data hujan yang lebih pendek dalam mendesain PAH. Pengaruh pola hujan terhadap PAH diuji dengan membandingkan volume tampungan dari ketiga tipe hujan. Tampungan optimal diperoleh dengan mengoptimasi parameter reliabilitas waktu. Pengujian panjang data dilakukan dengan mencari kemiripan antara tingkat penghematan air yang disimulasi dengan data hujan panjang dan data hujan pendek. Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa pola hujan mempengaruhi volume tampungan PAH. Pola hujan Ekuatorial dan Lokal membutuhkan volume tampungan yang lebih kecil dibanding pola hujan Monsoon. Karakteristik hujan yang mempengaruhi PAH adalah intensitas dan jumlah hari hujan. Kajian ini juga menyimpulkan bahwa data hujan pendek dapat digunakan untuk mendesain PAH di Indonesia. Panjang data yang memenuhi syarat adalah 15 tahun untuk tipe Ekuatorial, 13 tahun untuk tipe Monsoon dan 9 tahun tipe Lokal. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan perubahan kinerja PAH yang diwakili oleh parameter reliabilitas tampungan (output) tidak sensitif terhadap perubahan parameter inputnya.

Kata Kunci: pemanenan air hujan; pola hujan; seri data; kinerja PAH

PENDAHULUAN

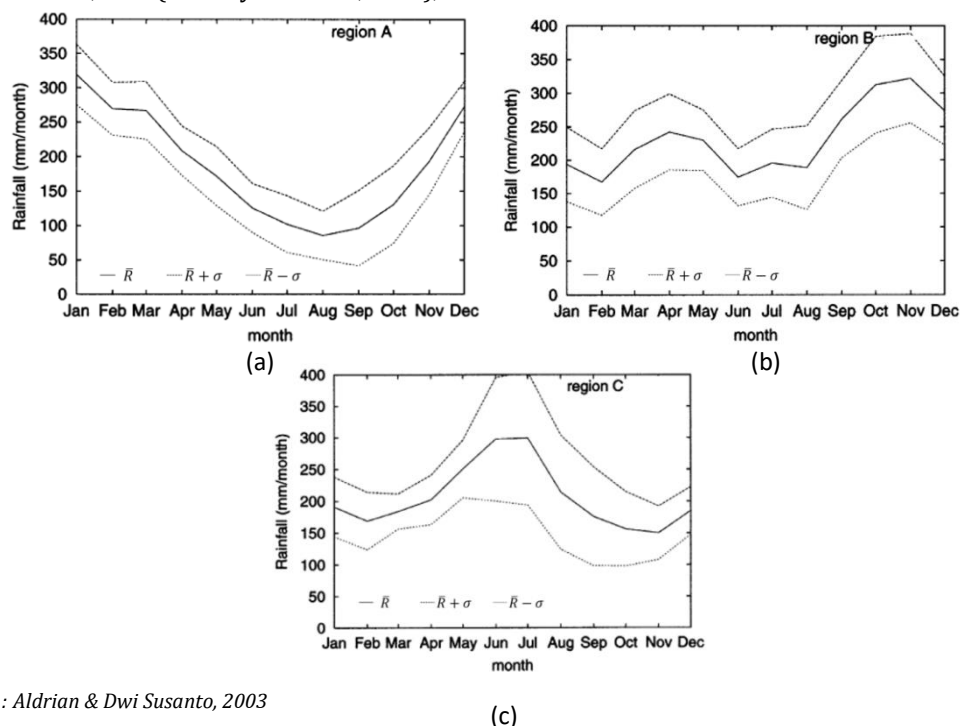
Kebutuhan air bersih masyarakat perkotaan dilayani oleh jaringan air perpipaan. Layanan perpipaan memudahkan akses terhadap air bersih sehingga mendorong pemakaian air serta meningkatkan air limbah yang dihasilkan. Saat ini infrastruktur sanitasi masih terbatas. Kesadaran masyarakat untuk mengolah air limbah juga masih sangat rendah. Air limbah yang tidak diolah langsung dibuang sehingga badan air sebagai sumber air baku menjadi tercemar. Pencemaran sumber air baku menyebabkan tingginya biaya pengolahan air perpipaan yang berdampak langsung terhadap harga jual air ke konsumen.

Salah satu upaya rumah tangga untuk memenuhi kebutuhan air baku secara mandiri yaitu dengan membuat penampungan air hujan (PAH). Air hujan yang ditampung dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari, khususnya untuk air baku non air minum (*non-potable water*). Masyarakat perkotaan di Indonesia, khususnya mereka yang tinggal di area dengan curah hujan tinggi atau > 2.000 mm/tahun, tertarik dengan pemanfaatan PAH. Mereka mengharapkan dengan pemanfaatan PAH dapat menghemat air perpipaan hingga 50% (Juliana et al., 2017). Kajian-kajian yang telah dilakukan menunjukkan berbagai wilayah di Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan PAH. Rumah tangga yang menerapkan sistem PAH dapat menghemat air $\pm 30\%$, contohnya kajian di Kota Kupang menyebutkan PAH dapat menghemat air 30,57% (Krisnayanti et al., 2019), di

Kota Surakarta PAH dapat menghemat air 30% (Julindra et al., 2017).

Analisis hidrologi desain tampungan memerlukan data hujan dan luas bidang tangkapan air hujan. Panjang data akan mempengaruhi hasil akhir desain, yaitu volume tampungan. Panjang data yang disarankan untuk analisis hidrologi lebih panjang atau sama dengan 20 tahun (Indonesia, 2015) sehingga dapat mewakili iklim normal (WMO, 2017). Namun yang menjadi kendala, tidak semua wilayah memiliki panjang data hujan seperti yang disyaratkan sehingga menggunakan data hujan yang lebih pendek untuk mendesain PAH. Penelitian terkait pengaruh panjang data hujan terhadap simulasi tampungan PAH pada berbagai kota di dunia menunjukkan bahwa panjang data hujan 9 tahun memberikan kemiripan kinerja tampungan dengan panjang data hujan 30 tahun pada kota-kota yang memiliki pola hujan sama (Soares Geraldi & Ghisi, 2018). Indonesia, dengan iklim tropis, memiliki pola hujan berbeda dengan kota-kota dari penelitian sebelumnya yang merupakan wilayah beriklim sub tropis. Indonesia memiliki 3 tipe pola hujan, yaitu Tipe Ekuatorial, Tipe Monsoon dan Tipe Lokal (Aldrian & Dwi Susanto, 2003).

Pola Hujan Monsoon memiliki 1 kali musim hujan dan 1 kali musim kemarau dalam setahun dengan musim penghujan terjadi di bulan November hingga Januari dan musim kemarau di bulan Mei hingga September (Gambar 1a).



Sumber : Aldrian & Dwi Susanto, 2003

Gambar 1 Karakteristik tiga pola hujan di Indonesia

Pola hujan ini dipengaruhi angin laut monsoon dan tersebar di wilayah Jawa, Sumatra bagian selatan, Kalimantan bagian selatan dan sebagian kecil Sulawesi dan Papua (Gambar 2). Pola Hujan Ekuatorial memiliki karakteristik curah hujan tinggi dengan 2 kali periode hujan dalam setahun dan musim kemarau pendek. Puncak hujan terjadi di bulan November dan April. Pola hujan ini dipengaruhi pergerakan semu matahari (Gambar 1b) dengan sebaran wilayah di Kalimantan bagian barat dan Sumatra bagian utara (Gambar 2). Pola Hujan Lokal memiliki 1 kali puncak hujan dan beberapa kali musim kering (Gambar 1c). Hujan Lokal dipengaruhi bentang alam setempat dengan sebaran wilayah di Kepulauan Maluku dan sebagian wilayah Sulawesi dan Papua (Gambar 2).

Hasil penelitian PAH di Kota Palembang (Juliana et al., 2017) menyebutkan bahwa panjang data hujan 1 atau 2 tahun memberikan kemiripan kinerja tampungan dengan panjang data hujan 15 tahun untuk kebutuhan air rendah 90 l/hari. Namun penelitian tersebut hanya menguji 1 seri data (*data series*) untuk tiap jenis panjang data sehingga perlu diuji kembali validitasnya untuk beberapa seri data. Di samping itu perlu dikaji lebih lanjut penggunaan rentang data yang lebih pendek untuk desain PAH pada ketiga pola hujan di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh pola hujan di Indonesia terhadap volume tampungan PAH serta mengkaji kemungkinan menggunakan panjang data hujan yang lebih pendek dalam mendesain PAH.

Penelitian ini menggunakan panjang data hujan 20 tahun yaitu dari tahun 2000 hingga 2019. Data hujan diperoleh dari *website* BMKG (BMKG 2021). Tiga stasiun hujan dipilih untuk mewakili ketiga

pola hujan yang ada di Indonesia. Ketiga stasiun tersebut adalah :

- Stasiun Meteorologi Kualanamu, Kabupaten Medan, Sumatra Utara yang mewakili wilayah dengan tipe Hujan Ekuatorial. Stasiun ini berada di 3,65°LU 98,88°BT dan elevasi 23 MSL.
- Stasiun Meteorologi Kemayoran, Kota Jakarta Pusat, DKI Jakarta yang mewakili tipe Hujan Monsoon. Stasiun ini memiliki posisi geografis 6,16°LS 106,84°BT dan elevasi 4 MSL.
- Stasiun Meteorologi Seigun yang berada di Kabupaten Fak-Fak, Papua Barat yang mewakili tipe Hujan Lokal. Stasiun Seigun terletak di 0,89°LS 131,23°BT dan elevasi 0 MSL.

METODOLOGI

Volume Tampungan PAH

Pada kajian ini volume tampungan PAH didesain dengan metode analisis simulasi (*simulation analysis*). Metode tersebut menggunakan prinsip neraca air dengan persamaan sebagai berikut :

$$Y_t = \min(D_t, S_{t-1}) \dots\dots\dots(1)$$

$$S_t = \min(S_{t-1} + Q, S_{max}) - Y_t \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

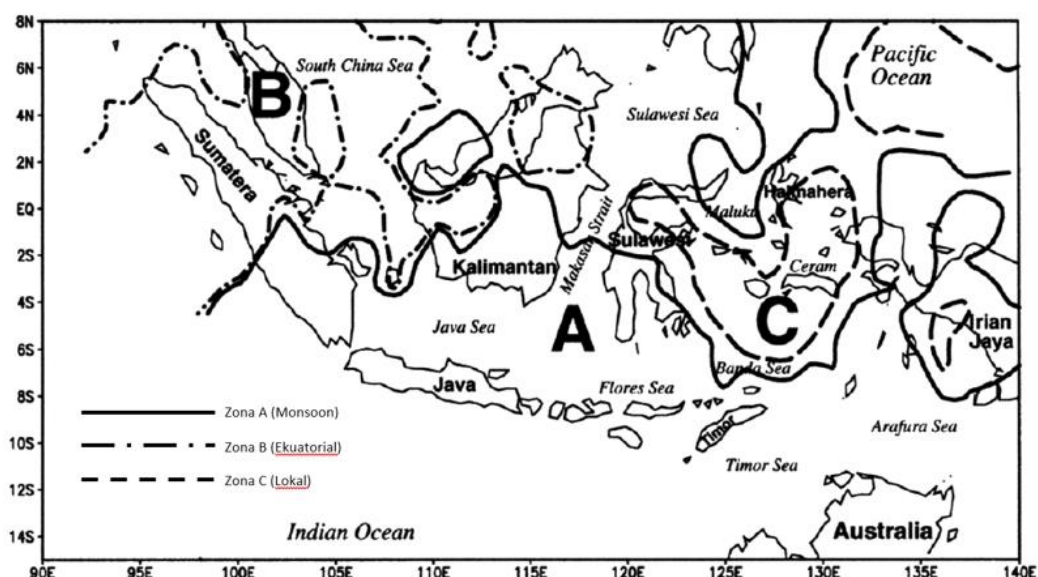
Y_t : penggunaan air waktu ke-t;

D_t : kebutuhan air waktu ke-t;

S_{t-1} : volume tampungan waktu ke-(t-1) / awal periode;

S_t : volume tampungan waktu ke-t / akhir periode; Q : ketersediaan air waktu ke-t;

S_{max} : volume tampungan maksimum



Sumber : Aldrian & Dwi Susanto, 2003

Gambar 2 Sebaran pola hujan di Indonesia

Simulasi tampungan dilakukan pada kondisi berikut:

- panjang data hujan 20 tahun (2000-2019)
- volume tampungan 0,5 m³, 1 m³, 1,5 m³, 2 m³ dan 3 m³
- kebutuhan air 30 l/orang/hari atau 120 l/rumah/hari (asumsi 4 orang/rumah)
- luas atap 72 m²
- koefisien atap 0,7 (Farreny et al., 2011).

Undang-undang nomor 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air menetapkan standard kebutuhan air bagi penduduk Indonesia adalah 60 l/orang/hari. Namun PAH tidak dapat memenuhi seluruh kebutuhan tersebut (Kartolo & Kusumawati, 2017) sehingga dalam penelitian ini diasumsikan PAH hanya dapat memenuhi 50% standar kebutuhan air atau 30 l/orang/hari atau 120 l/rumah/hari.

Ketersediaan air harian dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = I \times A \times k \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

- Q : ketersediaan air (l/hari/rumah);
- I : intensitas hujan (m/hari);
- A : luas bidang atap (m²);
- k : koefisien atap

Untuk menentukan volume tampungan optimal dilakukan proses optimasi. Salah satu parameter yang sering digunakan dalam proses optimasi tampungan adalah reliabilitas (Semaan et al., 2020). Ada 2 jenis reliabilitas yaitu reliabilitas volume dan reliabilitas waktu.

- a. Reliabilitas volume menggambarkan tingkat penghematan air (*water savings*) oleh sistem PAH, yang merupakan perbandingan antara total penggunaan air dengan total kebutuhan air per harinya.

$$R_v = \frac{\sum Y_t}{\sum D_t} \times 100\% \dots \dots \dots (4)$$

dimana :

- Rv : reliabilitas volume;
- Y_t : total ketersediaan air;
- D_t : total kebutuhan air.
- b. Reliabilitas waktu menggambarkan tingkat keandalan sistem PAH untuk memenuhi kebutuhan air sepanjang periode simulasi. Reliabilitas waktu merupakan perbandingan antara jumlah hari yang kebutuhan airnya dapat dipenuhi oleh PAH dengan total hari sepanjang periode simulasi.

$$R_T = \frac{U}{P} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

dimana :

- U : jumlah hari yang kebutuhan airnya dapat dipenuhi oleh PAH;
- P : total hari sepanjang periode simulasi

Pola Hujan

Pola hujan yang mempengaruhi volume tampungan PAH adalah intensitas hujan dan jumlah hari hujan. Sebaran data intensitas hujan dan jumlah hari hujan diuji dengan metode statistik deskriptif menggunakan parameter berikut:

$$x_{mean} = \frac{\sum x_i}{N} \dots \dots \dots (6)$$

$$x_{median} = \frac{x_{N+1}}{2} \dots \dots \dots (7)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{mean})^2}{N-1}} \dots \dots \dots (8)$$

$$c_v = \frac{S_d}{x_{mean}} \dots \dots \dots (9)$$

dimana :

- x_{mean} : nilai rerata;
- x_i : data hujan hari ke-1;
- N : jumlah data;
- $\frac{x_{N+1}}{2}$: data tengah dari urutan terkecil hingga terbesar;
- S_d : standar deviasi;
- c_v : koefisien varians

Pengujian Pengaruh Pola Hujan terhadap Volume Tampungan PAH

Pengujian pengaruh pola hujan dilakukan dengan membandingkan volume tampungan dari ketiga stasiun hujan. Volume tampungan optimal merupakan hasil optimasi dari parameter reliabilitas waktu. Nilai reliabilitas yang direkomendasikan minimum 70% (Joseph Wambura et al., 2010). Pemanfaatan PAH untuk mencuci dan pemakaian air toilet (*indoor*) membutuhkan nilai reliabilitas yang lebih tinggi, yaitu 88%-99% (Preeti & Rahman, 2021).

Pengujian Pengaruh Panjang Data terhadap PAH

Pengujian panjang data dilakukan dengan mencari kemiripan antara penghematan air atau reliabilitas volume yang disimulasi dengan data hujan panjang (20 tahun) dengan data hujan yang lebih pendek (Zhang et al., 2020). Suatu data hujan pendek dapat diterima jika kesalahan relatifnya kurang dari atau sama dengan 5% (Ghisi et al., 2012).

Kesalahan relatif merupakan perbandingan antara deviasi reliabilitas dengan reliabilitas acuan. Reliabilitas yang digunakan sebagai acuan adalah reliabilitas PAH yang disimulasi dengan panjang data 20 tahun. Sedangkan deviasi merupakan selisih

antara reliabilitas PAH yang disimulasi dengan data hujan pendek dan reliabilitas acuan. Kesalahan relative dihitung dengan persamaan berikut :

$$\varepsilon_i = \frac{R_{Si} - R_{Li}}{R_{Li}} \times 100\% \dots \dots \dots (10)$$

dimana :

R_{Si} : reliabilitas PAH dengan panjang data hujan i tahun ($i = 1,3,5,7,9,11,13,15$ tahun);

R_{Li} : reliabilitas PAH dengan panjang data 20 tahun;

ε_i : kesalahan relatif untuk panjang data hujan i tahun

Tiap simulasi yang diterima diberi skor 0 dan yang tidak diterima diberi skor 1.

$$m_i = \begin{cases} \text{Diterima} = 0, \varepsilon_i \leq 5\% \\ \text{Ditolak} = 1, \varepsilon_i > 5\% \end{cases} \dots \dots \dots (11)$$

Panjang data hujan pendek yang digunakan dalam simulasi tampungan adalah 1,3,5,7,9,11,13,15 tahun. Dengan demikian untuk panjang data 1 tahun dilakukan 20 kali simulasi, untuk panjang data 3 tahun dilakukan 18 kali simulasi, dan seterusnya.

Untuk menghitung total kesalahan pada suatu panjang data digunakan persamaan berikut :

$$F_s = \frac{\sum m_i}{N} \times 100\% \dots \dots \dots (12)$$

dimana :

m_i : skor hasil simulasi sesuai syarat yang ditetapkan;

N : jumlah simulasi untuk suatu panjang data (i tahun);

F_s : tingkat kesalahan untuk suatu panjang data
Suatu panjang data dapat diterima jika total kesalahannya kurang dari atau sama dengan 10%.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui akibat dari perubahan

parameter input seperti kebutuhan air, luas atap, koefisien atap terhadap *output* yaitu reliabilitas tampungan. Sensitivitas diuji dengan memberikan perubahan pada parameter input sebesar $\pm 20\%$, sedangkan perubahan untuk parameter koefisien atap sebesar $\pm 15\%$. Tingkat sensitivitas ditentukan dengan kriteria berikut (Nugroho, 2000) :

- tidak sensitif : perubahan *output* $\leq 50\%$ dari perubahan *input*;
- kurang sensitif : perubahan *output* antara 50% hingga 100% dari perubahan *input*;
- sensitif : perubahan *output* $> 100\%$ dari perubahan *input*.

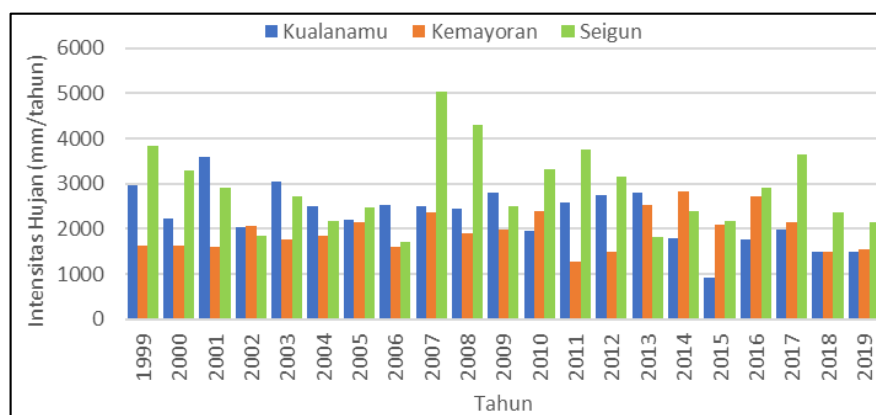
HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi Hujan Tahunan

Pola hujan di suatu wilayah dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya posisi geografis (bujur lintang), elevasi, pola angin, kontur, sebaran dataran perairan. Tipe basah memiliki intensitas hujan yang lebih tinggi dibanding kedua tipe lainnya sebagaimana terlihat pada Gambar 3.

Stasiun Kualanamu, stasiun yang mewakili tipe Ekuatorial memiliki intensitas hujan rata-rata tahunan 2.305 mm dengan koefisien varians 0,26 dan median 2.439. Nilai reratanya lebih kecil dari nilai mediannya. Pada simulasi tampungan dengan *time series* data yang pendek, mayoritas intensitas hujannya lebih besar dari nilai reratanya sehingga menghasilkan reliabilitas tampungan yang lebih tinggi dibanding reliabilitas pada *time series* panjang.

Stasiun Kemayoran, stasiun yang mewakili tipe Monsoon memiliki intensitas hujan rata-rata 1.954 mm/tahun dengan koefisien varians 0,21 dan median 1.909. Sedangkan intensitas hujan rata-rata Stasiun Seigun, stasiun yang mewakili tipe Lokal adalah 2.880 mm/tahun dengan koefisien varians 0,30 dan median 2.718. Pada kedua stasiun ini, nilai reratanya lebih besar dari nilai mediannya.



Gambar 3 Hujan tahunan di Stasiun Kualanamu, Kemayoran dan Seigun

Mayoritas intensitas hujannya lebih kecil dari nilai reratanya sehingga simulasi tampungan dengan *time series* data yang pendek menghasilkan reliabilitas tampungan yang lebih rendah dibanding reliabilitas pada *time series* panjang. Statistik data hujan dari ketiga stasiun tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tipe Monsoon memiliki intensitas hujan harian maksimum lebih tinggi dibanding tipe lainnya (Gambar 4). Artinya tipe Monsoon memiliki peluang kejadian hujan ekstrim yang lebih besar dibanding tipe Ekuatorial maupun Lokal. Stasiun Kemayoran mencatat curah hujan tertinggi terjadi di tahun 2015 sebesar 277 mm/hari pada bulan Februari. Tabel 1 di atas menunjukkan rata-rata hujan harian maksimum di masing-masing stasiun. Tipe Lokal memiliki jumlah hari hujan paling banyak di antara tipe lainnya (Gambar 5). Rata-rata jumlah hari hujan tipe Monsoon 174 hari/tahun sedangkan tipe Ekuatorial 134 hari/tahun dan tipe Lokal 203 hari/tahun (Tabel 1).

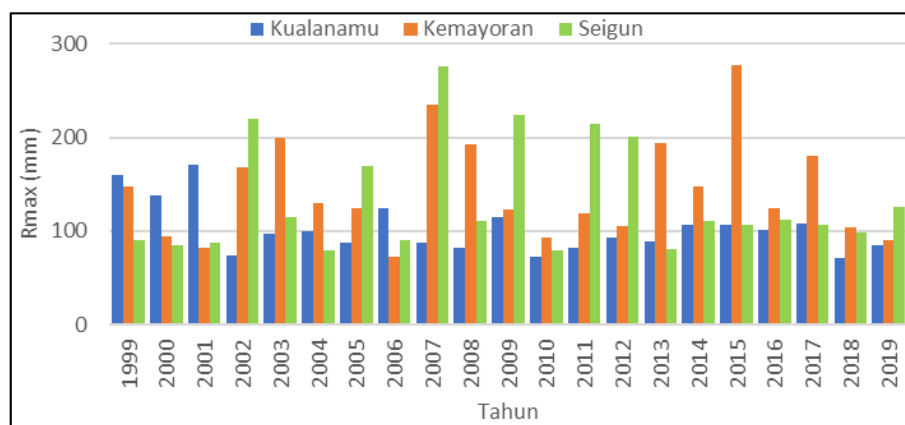
Variasi Hujan Bulanan

Puncak hujan Ekuatorial terjadi di bulan Oktober dan Mei dengan musim kering yang relatif pendek. Rata-rata intensitas hujan pada bulan Oktober adalah 337 mm/bulan dan bulan Mei 213 mm/bulan. Tipe Monsoon memiliki puncak hujan di bulan Februari dan puncak musim kering di bulan Agustus. Rata-rata intensitas hujan pada musim penghujan 251 mm/bulan dan musim kemarau (Mei-Oktober) 77 mm/bulan. Untuk tipe Lokal puncak hujan terjadi di bulan Juni dan puncak musim kering di bulan Februari. Rata-rata intensitas hujan di bulan Juni 346 mm/bulan.

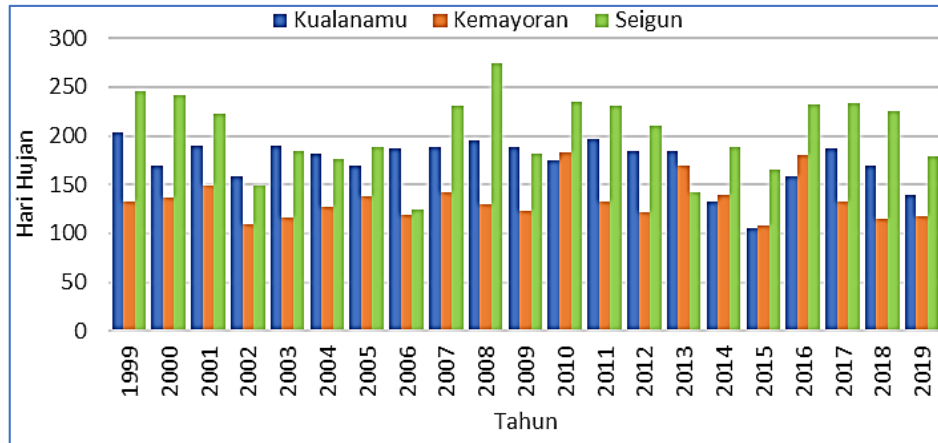
Perbedaan intensitas hujan antara musim kering dan musim penghujan pada tipe Monsoon cukup besar dimana intensitas hujan di musim kering hanya 30% dari intensitas di musim penghujan. Jika dibandingkan dengan tipe Monsoon, perbedaan intensitas hujan antar musim pada tipe Ekuatorial dan tipe lokal lebih kecil (Gambar 6).

Tabel 1 Karakteristik hujan di Stasiun Kualanamu, Kemayoran dan Seigun

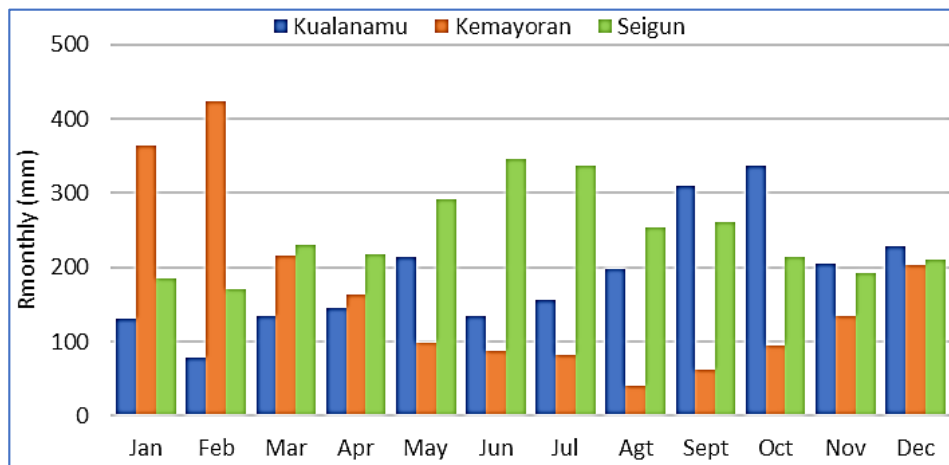
Parameter	Stasiun Kualanamu	Stasiun Kemayoran	Stasiun Seigun
Hujan Tahunan			
- Rerata	2.305 mm/tahun	1.954 mm/tahun	2.880 mm/tahun
- Standard deviasi	605	419	854
- Koef. varians	0,26	0,21	0,30
- Median	2.439	1.909	2.718
Hujan Maksimum Harian			
- Rerata	103 mm/hari	143 mm/hari	133 mm/hari
- Standard deviasi	26	52	58
- Koef. varians	0,26	0,37	0,43
- Median	98	125	111
Jumlah Hari Hujan per Tahun			
- Rerata	174 hari	134 hari	203 hari
- Standard deviasi	23	21	38
- Koef. varians	0,13	0,15	0,19
- Median	184	132	211



Gambar 4 Hujan maksimum harian di Stasiun Kualanamu, Kemayoran dan Seigun



Gambar 5 Jumlah hari hujan di Stasiun Kualanamu, Kemayoran dan Seigun



Gambar 6. Rata-rata hujan bulanan di Stasiun Kualanamu, Kemayoran dan Seigun

Tabel 2 Distribusi hujan bulanan di Stasiun Kualanamu, Kemayoran dan Seigun tahun 2000-2019

Bulan	Hujan Bulanan (mm)				Jumlah Hari Hujan			
	Rerata	Standard Deviasi	Koef. Varians	Median	Rerata	Standard Deviasi	Koef. Varians	Median
Stasiun Kualanamu								
Jan	131	71	0,54	133	13	4	0,31	13
Feb	78	66	0,84	70	8	4	0,46	7
Mar	135	89	0,66	124	11	6	0,52	11
Apr	146	86	0,59	155	11	4	0,36	11
Mei	213	122	0,57	184	16	4	0,25	15
Jun	134	72	0,54	123	12	3	0,27	12
Jul	157	82	0,52	139	12	4	0,32	12
Agt	197	107	0,54	178	15	4	0,25	16
Sept	309	124	0,40	282	19	4	0,20	19
Okt	337	128	0,38	343	21	3	0,16	22
Nov	206	102	0,50	176	18	3	0,18	19
Des	228	126	0,55	203	17	4	0,23	17

Bulan	Hujan Bulanan (mm)				Jumlah Hari Hujan			
	Rerata	Standard Deviasi	Koef. Varians	Median	Rerata	Standard Deviasi	Koef. Varians	Median
Stasiun Kemayoran								
Jan	365	201	0,55	333	19	4	0,22	21
Feb	424	215	0,51	385	20	3	0,15	20
Mar	216	81	0,37	193	17	3	0,19	17
Apr	163	79	0,48	162	13	3	0,24	13
Mei	98	58	0,59	86	9	4	0,39	9
Jun	88	69	0,79	72	7	4	0,57	7
Jul	81	93	1,14	32	5	5	0,91	4
Agt	40	57	1,40	25	4	4	1,10	2
Sept	62	75	1,21	39	4	4	1,01	3
Okt	94	89	0,95	78	8	5	0,67	8
Nov	135	80	0,59	121	12	4	0,34	13
Des	204	118	0,58	183	15	4	0,30	16
Stasiun Seigun								
Jan	185	74	0,40	178	17	4	0,26	17
Feb	171	84	0,49	157	15	3	0,23	16
Mar	229	125	0,54	208	17	5	0,28	17
Apr	218	66	0,30	214	17	3	0,19	18
Mei	291	140	0,48	322	18	6	0,33	19
Jun	346	137	0,40	360	21	6	0,28	21
Jul	336	209	0,62	299	19	6	0,29	21
Agt	253	222	0,88	185	15	7	0,47	15
Sept	262	179	0,68	245	17	8	0,46	17
Okt	214	127	0,59	189	16	7	0,43	18
Nov	192	73	0,38	202	16	5	0,29	17
Des	210	126	0,60	181	16	5	0,28	17

Perbedaan hari hujan antar musim pada tipe Ekuatorial dan tipe Lokal lebih kecil dibandingkan tipe Monsoon. Tipe Monsoon memiliki distribusi jumlah hari hujan yang tidak merata. Jumlah hari hujan di musim penghujan lebih besar dibanding hari hujan di musim kemarau. Sebaliknya tipe Lokal memiliki distribusi hari hujan yang cukup merata dengan nilai rerata 15 hari/bulan. Ketiga pola hujan memiliki jumlah hari hujan maksimum yang sama, yaitu 20 hari/bulan.

Pengaruh Pola Hujan terhadap Volume Tampungan PAH

Hasil simulasi tampungan dari ketiga stasiun hujan dengan pola hujan yang berbeda disajikan pada Tabel 3 di bawah ini. Pada pola hujan Ekuatorial dan Lokal, volume tampungan optimal untuk reliabilitas 70% adalah 0,5 m³ sedangkan pada pola hujan Monsoon 1,5 m³. Pola hujan Lokal dan Ekuatorial membutuhkan volume tampungan yang lebih kecil dibanding pola hujan Monsoon. Hal

ini terkait dengan karakteristik hujan dimana variasi intensitas dan frekuensi hujan antara musim penghujan dan musim kemarau lebih kecil dibanding tipe Monsoon (Gambar 6 dan Gambar 7) sehingga pengisian tampungan menjadi lebih sering. Dari perbandingan ini terlihat bahwa variasi pola hujan mempengaruhi volume tampungan PAH.

Tabel 3 Perbandingan volume tampungan dari ketiga stasiun dengan pola hujan yang berbeda

Volume Tampungan (m ³)	Reliabilitas Waktu (%)		
	Hujan Ekuatorial	Hujan Monsoon	Hujan Lokal
0,50	73%	58%	78%
1,00	85%	69%	87%
1,50	90%	74%	92%
2,00	93%	77%	94%
3,00	96%	80%	97%

Reliabilitas tertinggi dimiliki oleh hujan Lokal dengan nilai di atas 80%. Artinya tampungan pada pola hujan Lokal dapat memenuhi kebutuhan air lebih dari 80% di sepanjang periode simulasi. Pola hujan Ekuatorial dan Lokal memiliki tingkat reliabilitas yang cukup tinggi dan nilainya hampir sama. Pola hujan Monsoon memiliki tingkat reliabilitas yang lebih rendah dibanding kedua pola lainnya.

Secara konsisten ketiga pola hujan menunjukkan bahwa semakin besar volume tampungan, semakin tinggi reliabilitasnya. Untuk penggunaan air *indoor* dengan reliabilitas yang lebih tinggi 90%, dibutuhkan volume tampungan yang lebih besar.

Panjang Data Hujan untuk Desain PAH

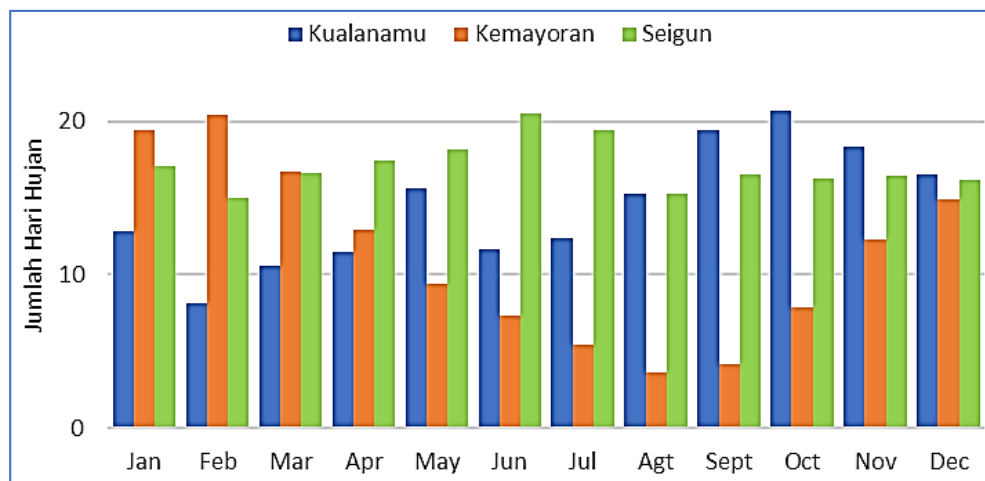
Tingkat penghematan air atau reliabilitas volume dari ketiga pola hujan disajikan pada Tabel 4. Pola hujan Lokal memberikan reliabilitas volume tertinggi sedangkan pola hujan Monsoon memberikan reliabilitas terendah. Reliabilitas pada Tabel 4 dihitung dengan panjang data 20 tahun.

Nilai reliabilitas tersebut menjadi acuan untuk mengukur besarnya simpangan dari data hujan dengan rentang yang lebih pendek.

Tabel 4 Tingkat penghematan air dari ketiga stasiun dengan pola hujan yang berbeda

Volume Tampungan (m ³)	Reliabilitas Volume (%)		
	Hujan Ekuatorial	Hujan Monsoon	Hujan Lokal
0,50	76%	61%	81%
1,00	87%	71%	89%
1,50	91%	76%	93%
2,00	94%	78%	95%
3,00	96%	81%	97%

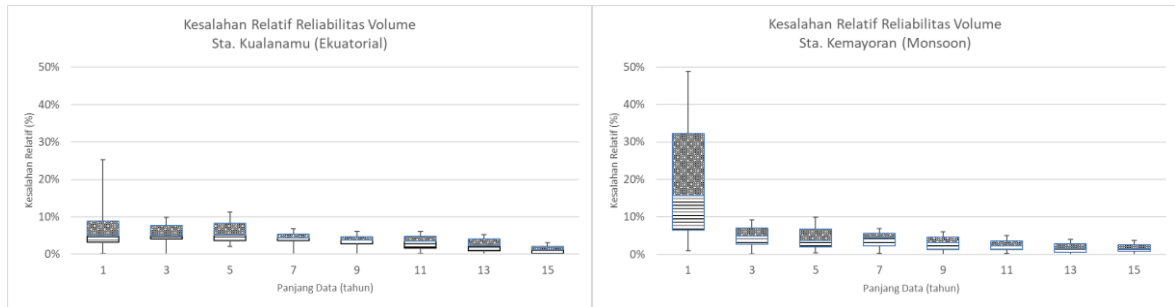
Data pendek dapat digunakan untuk mendesain PAH jika kesalahan relatifnya $\leq 5\%$ dan jumlah kesalahannya $\leq 10\%$ dari total simulasi suatu panjang data. Nilai kesalahan relative dari tiap simulasi pada suatu panjang data disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Perhitungan jumlah kesalahan data hujan pendek terhadap data hujan panjang (20 tahun) disajikan pada Tabel 5.



Gambar 7 Rata-rata hari hujan per bulan di Stasiun Kualanamu, Kemayoran dan Seigun

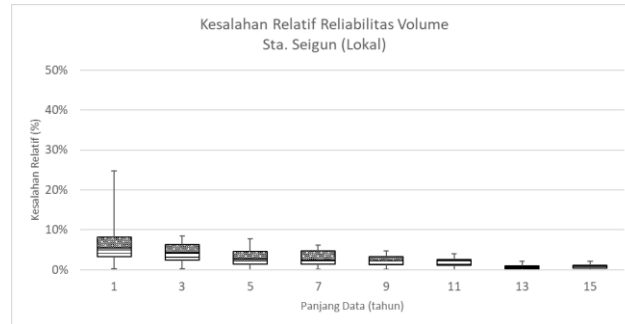
Tabel 5 Tingkat kesalahan panjang data hujan

Panjang Data Hujan (tahun)	Tingkat Kesalahan Reliabilitas Volume (%)			Tingkat Kesalahan Reliabilitas Waktu (%)		
	Hujan Ekuatorial	Hujan Monsoon	Hujan Lokal	Hujan Ekuatorial	Hujan Monsoon	Hujan Lokal
1	49%	81%	53%	58%	81%	58%
3	49%	49%	39%	61%	53%	44%
5	53%	36%	23%	66%	39%	25%
7	37%	36%	20%	47%	41%	26%
9	18%	20%	0%	32%	23%	2%
11	20%	12%	0%	26%	16%	0%
13	15%	3%	0%	20%	3%	0%
15	0%	0%	0%	7%	0%	0%



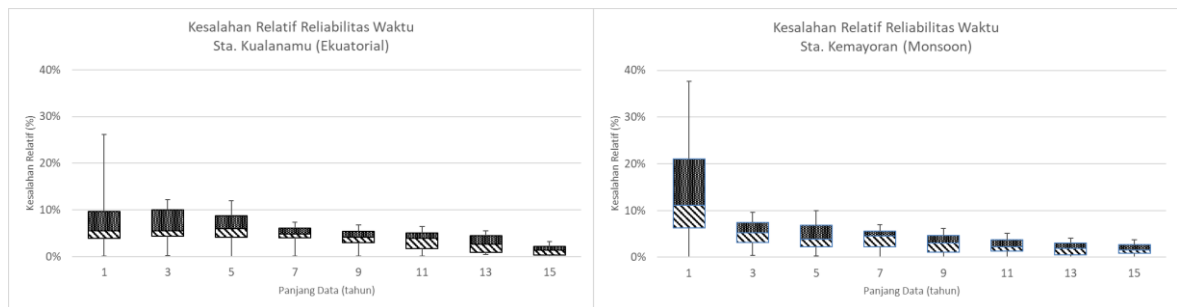
(a) tipe Ekuatorial

(b) tipe Monsoon



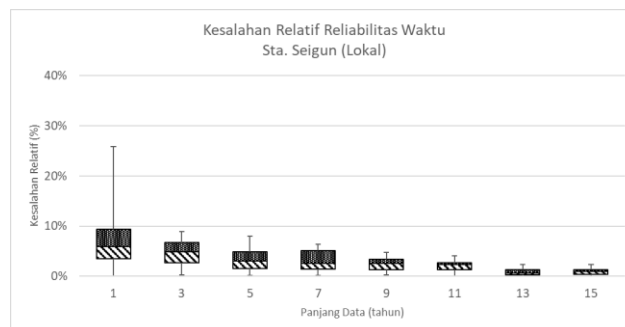
(c) tipe Lokal

Gambar 8(a,b,c). Kesalahan relatif reliabilitas volume dari setiap pengujian panjang data



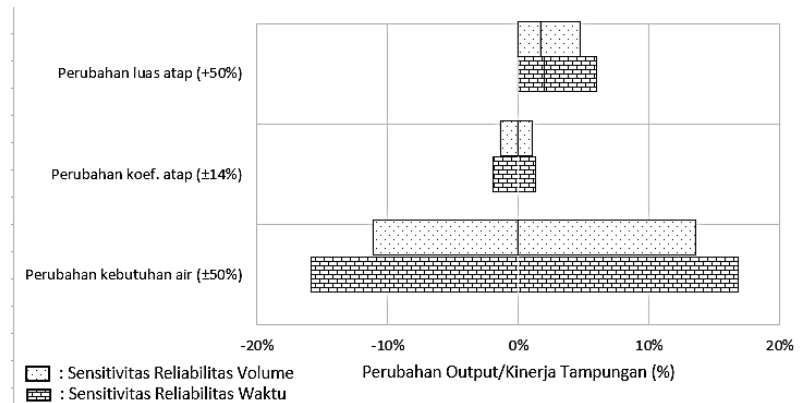
(a) tipe Ekuatorial

(b) tipe Monsoon



(c) tipe Lokal

Gambar 9(a,b,c) Kesalahan relative reliabilitas waktu dari setiap pengujian panjang data



Gambar 10 Sensitivitas parameter output terhadap input

Sensitivitas Parameter PAH

Pengujian sensitivitas dilakukan dengan memberikan perubahan pada parameter *input* dan mengamati perubahan *outputnya*. Parameter input yang diubah adalah :

- kebutuhan air dengan perubahan $\pm 50\%$ menjadi 15 l/orang/hari dan 45 l/orang/hari
- koefisien atap dengan perubahan $\pm 14\%$ menjadi 0,8 dan 0,7
- luas atap dengan perubahan +50% menjadi 108 m².

Untuk mengamati perubahan *output* pada ketiga pola hujan, dilakukan simulasi untuk volume tampungan 1 m³ dengan panjang data 20 tahun. Hasil analisis sensitivitas pada gambar dibawah ini menunjukkan perubahan output kurang dari 50% perubahan input sehingga dapat dikategorikan tingkat sensitivitasnya rendah (tidak sensitif). Artinya kinerja PAH (*output*) tidak berubah secara signifikan jika parameter inputnya berubah. Kebutuhan air merupakan parameter yang cukup sensitif dibanding parameter lainnya, meski demikian masih dapat dikategorikan ke dalam tingkat sensitivitas rendah.

KESIMPULAN

Pola hujan dari ketiga stasiun hujan di wilayah Indonesia, memiliki karakteristik yang berbeda. Analisis sebaran data hujan tahun 2000-2019 dengan statistik deskriptif menunjukkan tipe hujan Ekuatorial memiliki karakteristik intensitas hujan merata di sepanjang tahun dengan 2 kali puncak hujan di bulan Oktober dan Mei. Tipe Monsoon memiliki karakteristik intensitas hujan tidak merata di sepanjang tahun, dengan perbedaan intensitas hujan antara musim penghujan dan musim kemarau cukup besar. Tipe Monsoon memiliki 1 kali puncak hujan di bulan Februari, intensitas hujan (bulanan dan harian) pada puncak musim penghujan lebih tinggi dibanding tipe hujan lainnya. Tipe Lokal memiliki karakteristik intensitas

hujan yang merata sepanjang tahun, dengan 1 kali puncak hujan di bulan Juni. Tipe Lokal memiliki intensitas hujan tahunan dan jumlah hari hujan terbanyak dibanding tipe hujan, yaitu 2.880 mm/tahun dan 203 hari/tahun.

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa pola hujan mempengaruhi volume tampungan PAH. Karakteristik hujan yang mempengaruhi PAH adalah intensitas dan jumlah hari hujan. Intensitas dan jumlah hari hujan yang merata sepanjang tahun, seperti pada tipe Ekuatorial dan Lokal, memberikan reliabilitas waktu yang lebih baik. Tipe lokal memiliki tingkat reliabilitas PAH yang paling baik di antara ketiga pola hujan di Indonesia. Terkait pengujian panjang data hujan, dapat disimpulkan bahwa data hujan pendek dapat digunakan untuk mendesain PAH. Hasil simulasi menunjukkan data hujan yang lebih pendek memberikan kemiripan tingkat penghematan air atau reliabilitas volume dengan data hujan panjang (20 tahun). Panjang data yang memenuhi syarat adalah 15 tahun untuk tipe Ekuatorial, 13 tahun untuk tipe Monsoon dan 9 tahun tipe Lokal. Wilayah dengan distribusi hujan merata seperti tipe Lokal dapat menggunakan data hujan yang lebih pendek dibanding tipe lainnya. Pada tipe Ekuatorial terjadi penyimpangan intensitas hujan dalam kurun waktu 6 tahun terakhir sehingga membutuhkan data hujan yang lebih panjang. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan perubahan reliabilitas tampungan (*output*) tidak sensitif terhadap perubahan parameter *inputnya*. Kebutuhan air merupakan parameter yang cukup sensitif dibanding parameter lainnya, meski demikian masih dapat dikategorikan ke dalam tingkat sensitivitas rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada BMKG Indonesia yang telah mempublikasikan data hujan dengan kemudahan akses data sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar. Penulis juga menyampaikan ucapan

terimakasih kepada Penaprolis yang telah memberikan dukungan moral sepanjang proses penelitian ini berjalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2021. "Data Hujan Harian". <https://dataonline.bmkg.go.id/> (accessed April 2021)
- Aldrian, E., & Dwi Susanto, R. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12): 1435–1452. <https://doi.org/10.1002/joc.950>
- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasaola, A., Tayà, C., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2011). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research*, 45(10): 3245–3254. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.036>
- Ghisi, E., Cardoso, K. A., & Rupp, R. F. (2012). Short-term versus long-term rainfall time series in the assessment of potable water savings by using rainwater in houses. *Journal of Environmental Management*, 100: 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.031>
- Indonesia, (2015). *SNI-1724-2015 Kriteria Desain Bangunan Sungai*.
- Joseph Wambura, F., Marco NDOMBA, P., & Joseph WAMBURA, F. (2010). Reliability of Rainwater Harvesting Systems in Suburbs. A case study of Changanyikeni in Dar es Salaam, Tanzania AgMIP phase 1 View project Reliability of Rainwater Harvesting Systems in Suburbs. A case study of Changanyikeni in Dar es Salaam, Tanzania. In *Nile Basin Water Science & Engineering Journal* (Vol. 3). <https://www.researchgate.net/publication/267039172>
- Juliana, I. C., Gunawan, T. A., Sakura, D., & Iryani, Y. (2017). Respons Masyarakat Dan Peran Pemerintah Dalam Penerapan Sistem Rainwater Harvesting Untuk Skala Rumah Tangga. *Prosiding Simposium II – UNIID*, 240–247. <http://conference.unsri.ac.id/index.php/uniid/article/view/611>
- Juliana, I. C., Kusuma, M. S. B., Cahyono, M., Martokusumo, W., & Kuntoro, A. A. (2017). The effect of differences rainfall data duration and time period in the assessment of rainwater harvesting system performance for domestic water use. *AIP Conference Proceedings*, 1903. <https://doi.org/10.1063/1.5011616>
- Julindra, R., Qomariyah, S., & Sudarto. (2017). Analisis Pemanfaatan Air Hujan Dengan Metode Penampungan Air Hujan Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Rumah Tangga Di Kota Surakarta. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 5(3), 1061–1069. <https://doi.org/https://doi.org/10.20961/mateksi.v5i3.36737>
- Kartolo, J., & Kusumawati, E. (2017). Feasibility study of rainwater harvesting for domestic use (Case study: West Jakarta rainfall data). *AIP Conference Proceedings*, 1903. <https://doi.org/10.1063/1.5011618>
- Krisnayanti, D. S., Yosafath, Y. T., & Pah, J. J. S. (2019). *EFISIENSI PEMANFAATAN AIR DENGAN SARANA PENAMPUNGAN AIR HUJAN PADA RUMAH WARGA KOTA KUPANG*. <https://doi.org/10.35508/jts.8.2.165-178>
- Nugroho, S. P. (2000). Analisis Sensitivitas Parameter Hidrologi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 1(2): 157–166. <https://doi.org/https://doi.org/10.29122/jtl.v1i2.175>
- Preeti, P., & Rahman, A. (2021). A case study on reliability, water demand and economic analysis of rainwater harvesting in Australian capital cities. *Water (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/w13192606>
- Semaan, M., Day, S. D., Garvin, M., Ramakrishnan, N., & Pearce, A. (2020). Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: A systematic literature review. In *Resources, Conservation and Recycling: X* (Vol. 6). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100033>
- Soares Geraldi, M., & Ghisi, E. (2018). Assessment of the length of rainfall time series for rainwater harvesting in buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.007>
- <https://doi.org/https://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JTL/article/view/175>
- WMO. (2017). *Guidelines on the Calculation of Climate Normals*.
- Zhang, S., Jing, X., Yue, T., & Wang, J. (2020). Performance assessment of rainwater harvesting systems: Influence of operating algorithm, length and temporal scale of rainfall time series. *Journal of Cleaner Production*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120044>