

OVERHEAD OPERATIONAL WATER FOOTPRINT DAN KUALITAS AIR PADA GEDUNG BERTINGKAT DALAM UPAYA MEWUJUDKAN KONSEP GREEN BUILDING (STUDI KASUS GRAHA REKTORAT UNIVERSITAS NEGERI MALANG)

Sanjaya Silvia¹, Anie Yulistyorini^{2*}, Dian Ariestadi²

¹Laboratorium Lingkungan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5, Malang 65145, Indonesia

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang 65145, Indonesia

e-mail: sanjaya.silvia.1705236@students.um.ac.id; dian.ariestadi.ft@um.ac.id

*corresponding author: anie.yulistyorini.ft@um.ac.id

Abstract: Graha Rektorat Building at the State University of Malang (UM) significantly contributes to water usage. Water usage in the building must be managed and appropriately considered, so it can highly contribute to UM's ranking of UI Green Metric for water conservation indicators. Water usage can be calculated by analysis of overhead operational water footprint. This research aims to analyze green, blue, and grey water footprint, overhead operational water footprint, and the quality of green water on the Graha Rektorat building. The methods used in this research are the quantitative method. This research showed the blue water footprint, green water footprint, and grey water footprint of Graha Rektorat building each by 5628 m³ during January – September 2021, 4361.43 m³/year 18.575 m³/day. Overhead operational water footprint on Graha Rektorat building equal with the value of blue water footprint which is 5628 m³ during January – September 2021. The quality of green water on the Graha Rektorat building does not meet the requirements of Indonesian Minister of Health No. 32 of 2017 concerning environmental health quality standards and water health requirements for hygienic and sanitation purposes. Swimming Pools, Solus Per Aqua, and Public Baths, so as another alternative, green water can be used as a substitute for flushing toilets and watering plants to reduce blue water usage.

Keywords: blue water footprint, green water footprint, grey water footprint, overhead operational water footprint, Graha Rektorat building

Abstrak: Gedung Graha Rektorat Universitas Negeri Malang (UM) memiliki kontribusi besar dalam penggunaan air. Penggunaan air pada gedung harus dikelola dan diperhatikan dengan baik, sehingga dapat berkontribusi dalam pemeringkatan UM dalam *UI Green Metric* untuk indikator konservasi air. Penggunaan air dapat dihitung dengan cara analisis *overhead operational water footprint*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *green, blue, dan grey water footprint, overhead operational water footprint*, serta kualitas air pada Gedung di kampus UM dengan objek Graha Rektorat. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *blue water footprint, green water footprint, dan grey water footprint* Gedung Graha Rektorat UM masing-masing sebesar 5628 m³ selama Januari – September 2021, 4361.43 m³/tahun, dan 18.575 m³/hari. *Overhead operational water footprint* Gedung Graha Rektorat UM sama dengan nilai *blue water footprint* yaitu 5628 m³ selama Januari – September 2021. Kualitas *green water* pada Gedung Graha Rektorat UM tidak memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum, sehingga sebagai alternatif lain, *green water* dapat dimanfaatkan sebagai pengganti untuk flushing toilet dan menyiram tanaman untuk mengurangi penggunaan *blue water*.

Kata kunci: *blue water footprint, green water footprint, grey water footprint, overhead operational water footprint, Gedung Graha Rektorat UM*

PENDAHULUAN

Manusia membutuhkan air untuk kegiatan rumah tangga, industri, dan bidang kehidupan lainnya. Penggunaan air dalam berbagai bidang semakin meningkat setiap tahun seiring dengan pesatnya pertumbuhan penduduk. Pada tahun 2019 jumlah penduduk Indonesia sebesar 268.074,6 ribu jiwa dan kebutuhan air bersih sebesar 4.132.264 m³ (BPS, 2019). Peningkatan konsumsi air bersih menyebabkan peningkatan jumlah limbah cair. Limbah rumah tangga dapat menyebabkan polusi air sebesar 47,62% dan limbah perkotaan sebesar 19,04% (Widiyanto et al., 2015).

Blue water footprint langsung mengalami tren peningkatan dari 2001 ke 2010. Melalui pemasyarakatan teknologi hemat air dan pengolahan air limbah, intensitas penggunaan *blue water footprint* dan *grey water footprint* menurun dari tahun ke tahun (Wang et al., 2013). Disamping itu dalam upaya penghematan *blue water* dapat dilakukan pemanenan air hujan. Air hujan yang dipanen dapat difungsikan untuk mensubstitusi penggunaan *blue water* karena curah hujan di Indonesia yang cukup besar. Curah hujan rata-rata bulanan 13.4 mm dan luas atap 96.73 m² volume air hujan yang terkumpul yaitu 0.91 m³ per bangunan bulanan. Proses filtrasi mampu menurunkan nilai kekeruhan sebesar 79.8% dan total padatan terlarut sebesar 88.5% sehingga air hujan tersebut layak digunakan untuk air bersih (Asnaning et al., 2018).

Peningkatan penggunaan air dan polusi air juga terjadi pada gedung bertingkat, termasuk juga di Gedung Graha Rektorat Universitas Negeri Malang. Gedung ini merupakan gedung 9 lantai dengan luas 17.606 m². Sebagai kantor pusat kampus dan gedung terbesar yang telah

beroperasi, Gedung Graha Rektorat memiliki kontribusi besar dalam penggunaan air. Penggunaan air pada gedung harus dikelola dan diperhatikan dengan baik dalam upaya penghematan air bersih sehingga konsep *green building* dapat terwujud. *Green Building Council Indonesia* (GBCI) mencatat pada tahun 2018, adanya sertifikasi *green building* di Indonesia dapat menghemat air sebesar 1,379,903 m³/tahun (Idhar & Yuwono, 2019). Dalam upaya mewujudkan konsep *green building* terutama konservasi air maka penggunaan air harus dihitung, salah satu caranya yaitu dengan analisis *overhead operational water footprint* (OOWF). Dengan analisis OOWF dapat diketahui langkah yang tepat untuk penghematan air bersih dan pemanfaatan *green* serta *grey water footprint* untuk operasional gedung.

Studi ini diperlukan sebagai kontribusi dalam mewujudkan konservasi air dalam konsep *green building* dan perhitungan riil kebutuhan air. Penelitian terkait analisis OOWF pada gedung perkantoran belum banyak dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *green, blue, grey water footprint, overhead operational water footprint*, serta kualitas air pada gedung di kampus UM dengan objek Gedung Graha Rektorat.

METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif. Pengambilan data yang digunakan adalah observasi lapangan, *sampling green water* dan *grey water*, survey online, dan penggunaan data sekunder. Observasi lapangan dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat volume *blue* dan *grey water* pada *water meter*. Secara umum data yang diperlukan untuk penelitian terdapat pada Tabel 1.

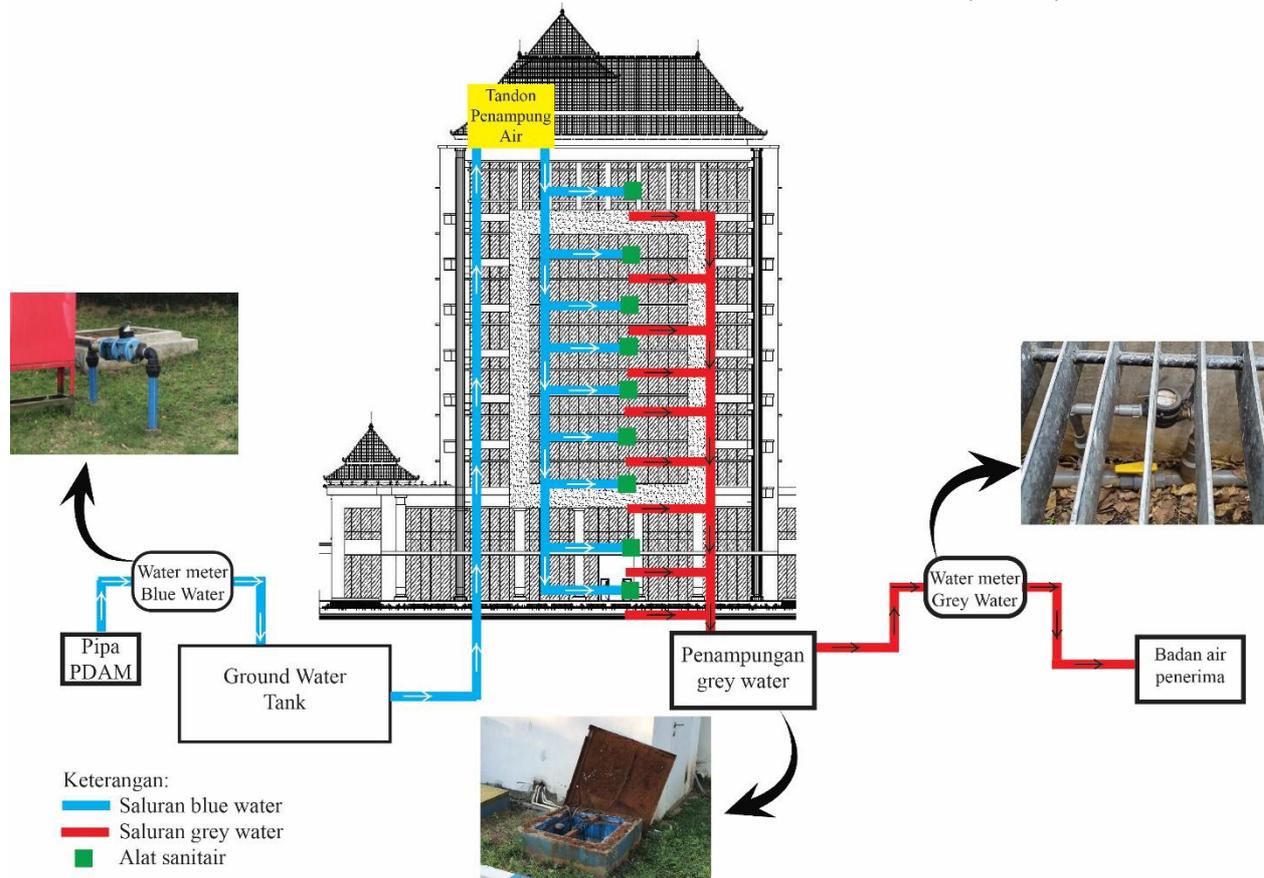
Tabel 1. Jenis dan sumber data penelitian

No	Data	Jenis Data	Sumber Data
1	Volume <i>blue water</i>	Primer, Sekunder	Observasi, dokumen
2	Penggunaan <i>blue water</i>	Primer	Kuesioner
3	Curah hujan Kota Malang	Sekunder	Dokumen
4	Area limpasan air hujan	Sekunder	Dokumen
5	Volume <i>green water</i>	Sekunder	Dokumen
6	Kualitas <i>green water</i>	Primer	Observasi
7	Volume <i>grey water</i>	Primer	Observasi
8	Konsentrasi polutan <i>grey water</i>	Primer	Observasi
9	Konsentrasi polutan di badan air penerima	Primer	Observasi
10	Kualitas <i>grey water</i>	Primer	Observasi

Blue water

Data *blue water* berupa volume dan penggunaan *blue water*. Observasi lapangan untuk pengukuran volume *blue water* dilakukan selama bulan Maret 2021. Data sekunder pendukung diperoleh dari dokumen tagihan rekening air PDAM Gedung Graha Rektorat UM bulan Januari – September 2021. Sistem pompa pada *ground water tank* menggunakan sistem

pompa otomatis yang menggunakan bantuan pelampung untuk mendeteksi tingkat ketinggian air. Ketika level ketinggian air menurun, maka pompa akan menyala secara otomatis dan mengisi air pada *ground water tank*, dan sebaliknya sehingga air tidak meluap. Sistem aliran air pada Gedung Graha Rektorat UM dapat dilihat pada Gambar 1. Volume *blue water* diukur 1 kali dalam kurun waktu 24 jam (1 hari) selama bulan Maret 2021 (31 hari).



Gambar 1. Sistem aliran air bersih dan air limbah pada gedung graha rektorat UM

Penggunaan *blue water* diperoleh dari kuesioner online yang dibagikan kepada pengguna Gedung Graha Rektorat UM. Kuesioner berisi pertanyaan mengenai jenis penggunaan dan volume air oleh pengguna Gedung melalui Google Form. Jumlah pengguna gedung merupakan jumlah seluruh pegawai yang berkantor di Gedung Graha Rektorat UM.

Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah sampling acak sederhana (*simple random sampling*) (Pradana & Reventiary, 2016).

$$n = N(1 + Ne^2) \tag{1}$$

dengan n = jumlah sampel, N = jumlah populasi, dan e = persentase kelonggaran ketelitian karena kesalahan pengambilan sampel.

Penentuan jumlah responden menggunakan batas toleransi kesalahan 10% dengan tingkat akurasi 90%. Berdasarkan tabel ukuran sampel dan batas kesalahan untuk batas toleransi kesalahan 10%, maka dapat dilakukan pembulatan ke atas (Sugiyono, 2008). Berikut perhitungan menggunakan Rumus Slovin untuk jumlah minimum responden adalah:

$$\begin{aligned}
 n &= N/(1+Ne^2) \\
 &= 313/(1+313^2) \\
 &= 75.79 \\
 &= 76 \text{ responden}
 \end{aligned}$$

Green water

Data *green water* berupa volume dan kualitas *green water*. Volume *green water* didapatkan dari data curah hujan Kota Malang yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Malang. Data curah hujan 10 tahun terakhir yaitu tahun 2011 – 2020. *Green water footprint* mengacu pada volume *green water* yang dapat diketahui dengan perhitungan hujan andalan. Hujan andalan dapat dihitung dengan cara mengurutkan peringkat data curah hujan periode 10 tahun berdasarkan besar curah hujan rata-rata bulanan.

Probabilitas hujan andalan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = \left(\frac{m}{(n + 1)} \right) \times 100\% \quad (2)$$

dengan P = Probabilitas (%), m = Nomor urut data, dan n = Jumlah data.

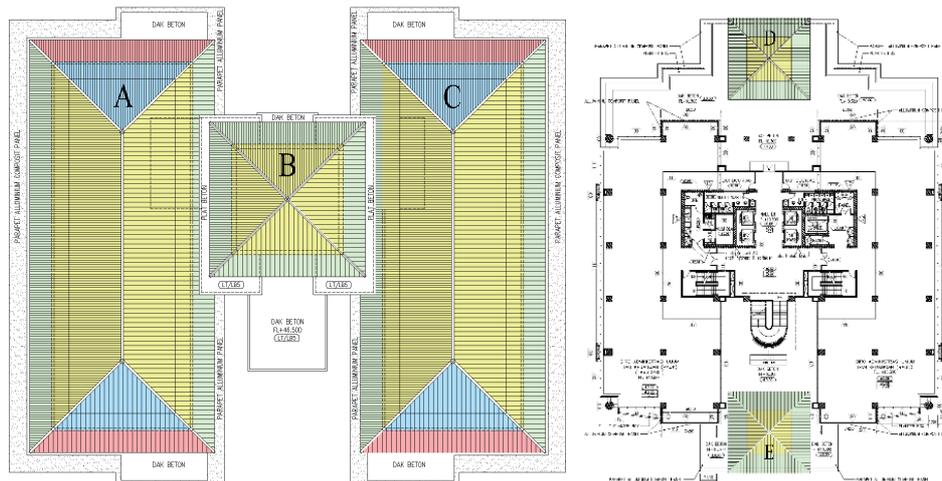
Dari data curah hujan andalan tersebut dapat diketahui volume *green water* setiap bulan selama satu tahun.

Perhitungan volume *green water* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$V = R \times A \times C \quad (3)$$

dengan: R = Hujan andalan (mm), A = Luas atap (m^2), dan C = Koefisien run off.

Area limpasan air hujan pada Gedung Graha Rektorat UM berupa atap gedung. Detail atap gedung dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Denah atap gedung graha rektorat UM

Pengambilan sampel *green water* dilakukan di lingkungan Gedung Graha Rektorat UM pada saat musim hujan. Parameter yang dianalisa pada *green water* yaitu warna, TDS, suhu, rasa, bau, E. coli, pH, Besi, Fluorida, Kesadahan, Mangan, Nitrat, Nitrit, dan Sianida (PERMENKES RI No. 32 Tahun 2017). Pengujian konsentrasi polutan tersebut dilakukan sebanyak tiga kali di Laboratorium Perum Jasa Tirta Kota Malang. Teknik pengambilan sampel berdasarkan pada SNI 6989-69-2008.

Grey water

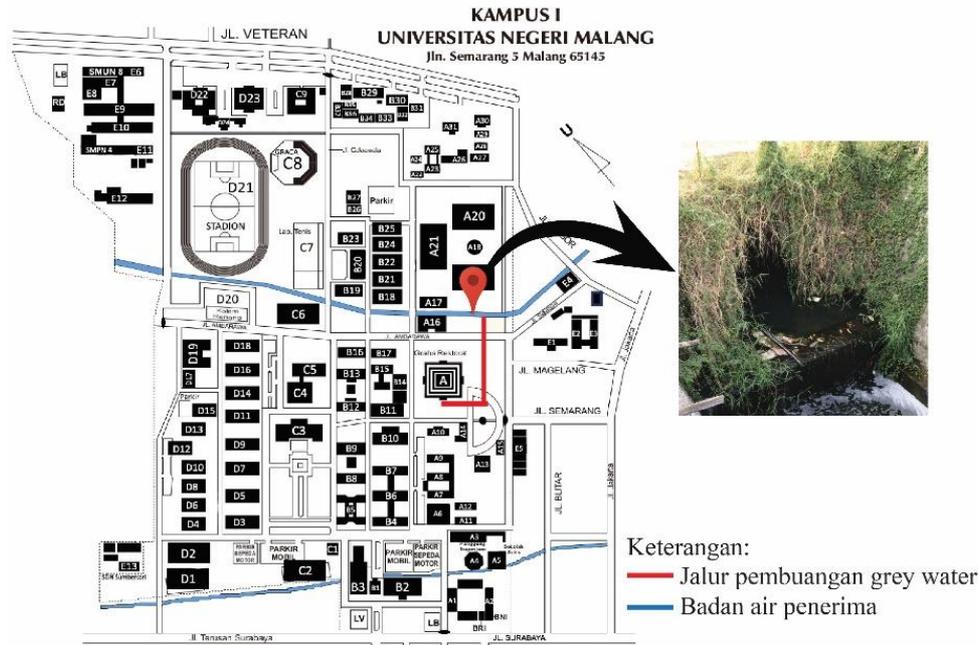
Data *grey water* berupa volume dan konsentrasi polutan *grey water* serta konsentrasi polutan di badan air penerima. Volume *grey water* diukur menggunakan *water meter* yang

terpasang pada saluran air kotor yang menuju badan air penerima. Sistem pompa untuk *grey water* menggunakan sistem pompa otomatis yang menggunakan bantuan pelampung untuk mendeteksi tingkat ketinggian air. Ketika level ketinggian air naik, maka pompa akan menyala secara otomatis dan membuang *grey water* pada bak penampungan, dan sebaliknya. Lokasi titik penempatan *water meter* berada pada saluran pembuangan yang terletak di bawah pintu masuk basement seperti pada Gambar 1. Volume *grey water* diukur 1 kali dalam kurun waktu 24 jam (1 hari) selama bulan Maret 2021 (31 hari).

Parameter yang diukur yaitu BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, pH, amoniak, serta *Total caliform* (PERMENLHK RI Nomor:P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016).

Sampling dan pengujian konsentrasi polutan *grey water* untuk lima parameter tersebut dilakukan sebanyak tiga kali di Laboratorium Perum Jasa Tirta Kota Malang. Lokasi titik pengambilan sampel *grey water* yaitu pada bak

penampungan *grey water* Gedung Graha Rektorat UM yang terletak di sebelah pintu masuk menuju basement seperti pada Gambar 1. Teknik pengambilan sampel berdasarkan pada SNI 6989-69-2008.



Gambar 3. Lokasi pengambilan sampel badan air penerima

Dalam menganalisis *grey water footprint*, nilai *grey water footprint* untuk masing-masing polutan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$WF_{grey} = \frac{Q_{act} \times (C_{acti} - C_{nati})}{C_{max} - C_{nati}} \quad (4)$$

dengan $WF_{grey i}$ = *grey water footprint* dari polutan i (volume/waktu), Q_{act} = debit aktual yang memasuki badan air (volume/waktu), $C_{act i}$ = konsentrasi aktual polutan i sebelum memasuki badan air (massa/volume), $C_{nat i}$ = konsentrasi asli polutan i di badan air (massa/volume), dan $C_{max i}$ = konsentrasi maksimum polutan i untuk dilepaskan di badan air (massa/volume).

Sehingga nilai *grey water footprint* yang seluruhnya dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$WF_{grey} = \max(WF_{grey1}, WF_{grey2}, \dots, WF_{greyi}) \quad (5)$$

dengan WF_{grey} = *grey water footprint* (volume/waktu), $WF_{grey 1}$ = *grey water footprint*

polutan 1 (volume/waktu), $WF_{grey 2}$ = *grey water footprint* polutan 2 (volume/waktu), dan $WF_{grey i}$ = *grey water footprint* polutan i (volume/waktu).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Blue Water Footprint

Blue water footprint Gedung Graha Rektorat UM selama Januari – September 2021 sebesar 5628 m³ (Tabel 2). *Blue water footprint* pada bulan Maret dan Mei yaitu sebesar 865 m³/bulan dan 808 m³/bulan merupakan nilai maksimal penggunaan *blue water* selama Januari – September 2021. Meskipun terdapat libur Hari Raya Idul Fitri 1442 H pada bulan Mei 2021 volume *blue water* tetap tinggi karena UM sedang memberlakukan *Work at Office* (WAO). Sedangkan pada bulan Maret dan Juli 2021 *blue water footprint* sebesar 467 m³/bulan dan 468 m³/bulan merupakan nilai minimal penggunaan *blue water* selama Januari – September 2021. Hal tersebut disebabkan karena Gedung Graha Rektorat UM memberlakukan 50% *Work from Home* (WFH).

Tabel 2. *Blue Water Footprint* Januari – September 2021

No.	Bulan	Blue Water Footprint (m ³ /bulan)
1	Januari	598
2	Februari	611
3	Maret	865
4	April	602
5	Mei	808
6	Juni	585
7	Juli	468
8	Agustus	530
9	September	561
	Total	5628
	Rata-rata	625.29

Selama berada di Gedung Graha Rektorat UM, sebagian besar responden yaitu 99% menggunakan *blue water* untuk keperluan buang

air besar/kecil, 99% untuk mencuci tangan, 92% untuk wudhu, dan 71% untuk mencuci peralatan makan/minum.

Tabel 3. Volume Penggunaan *Blue Water*

No.	Volume <i>Blue Water</i> (liter/hari)	f _i	x _i	f _i x x _i
Penggunaan <i>blue water</i> untuk buang air kecil/besar				
1	1 - 2	26	1.5	39
2	2 - 4	29	3.0	87
3	4 - 6	16	5.0	80
4	6 - 8	5	7.0	35
	Jumlah	76		241
	Mean			3.17
Penggunaan <i>blue water</i> untuk mencuci tangan				
1	1 - 2	59	1.5	88.5
2	2 - 4	15	3	45
3	4 - 6	0	5	0
4	6 - 8	1	7	7
	Jumlah	75		140.5
	Mean			1.87
Penggunaan <i>blue water</i> untuk wudhu				
1	1 - 2	10	1.5	15
2	2 - 4	22	3	66
3	4 - 6	23	5	115
4	6 - 8	15	7	105
	Jumlah	70		301
	Mean			4.30
Penggunaan <i>blue water</i> untuk mencuci peralatan makan/minum				
1	1 - 2	26	1.5	39
2	2 - 4	24	3	72
3	4 - 6	1	5	5
4	6 - 8	3	7	21
	Jumlah	54		137
	Mean			2.54

Keterangan :

f_i : frekuensi

x_i : nilai tengah

Berdasarkan tabel 3 dapat diketahui bahwa rata-rata penggunaan *blue water* untuk buang air besar/kecil, mencuci tangan, wudhu, dan mencuci peralatan makan dan minum masing-masing yaitu 3.17 liter/hari, 1.87 liter/hari, 4.30 liter/hari, dan 2.54 liter/hari. Pengguna Gedung Graha Rektorat UM sebanyak 313 orang, sehingga volume *blue water* per orang per hari sebesar 18.78 liter. Dengan hasil tersebut volume *blue water* per orang per hari melebihi standar yang telah ditentukan oleh Ditjen Cipta Karya. Kebutuhan air non domestik untuk jenis gedung perkantoran yaitu 10 liter/orang/hari (Ditjen Cipta Karya, 2007). Dari hasil tersebut

maka perlu dilakukan penghematan *blue water* salah satunya yaitu dengan cara memanfaatkan hasil olahan *grey water* dan memanfaatkan *green water*. Penurunan pemakaian air dapat dilakukan dengan cara membuat penampungan air hujan dan daur ulang air limbah (Yudo, 2018).

Green Water Footprint

Green water footprint merupakan konsumsi air yang bersumber dari *green water* (air hujan). Perhitungan probabilitas terjadinya hujan andalan urutan nomor 1 yaitu:

$$P = (1/(10+1)) \times 100\% = 9\%$$

Selanjutnya perhitungan probabilitas hujan andalan terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Probabilitas Hujan Andalan

Tahun	Curah Hujan (mm/tahun)	No	Urutan		Andalan (%)
			Tahun	Curah Hujan	
2011	1666	1	2016	3304	9%
2012	1540	2	2020	2667	18%
2013	2203	3	2017	2323	27%
2014	2258	4	2014	2258	36%
2015	1969	5	2013	2203	45%
2016	3304	6	2018	1980	55%
2017	2323	7	2015	1969	64%
2018	1980	8	2011	1666	73%
2019	1630	9	2019	1630	82%
2020	2667	10	2012	1540	91%

Berdasarkan tabel tersebut dapat ditentukan curah hujan andalan dengan cara memilih data hujan dengan probabilitas mendekati 80%, yaitu berada pada tahun 2019 sebesar 82%.

Perhitungan volume *green water* untuk bulan Januari yaitu:

$$\text{Luas atap (A)} = 2973.16 \text{ m}^2$$

$$\text{Koefisien run off (C)} = 0.9$$

$$V = R \times A \times C$$

$$= 283 \times 10^{-3} \times 2973.16 \times 0.9$$

$$= 757.26 \text{ m}^3$$

Selanjutnya perhitungan volume *green water* bulanan terdapat pada Tabel 5. berikut ini:

Tabel 5. Volume *Green Water*

Bulan	Hujan Andalan (mm)	Luas Atap (m ²)	Volume <i>Green Water</i> (m ³)
Januari	283	2973.16	757.26
Februari	518	2973.16	1386.09
Maret	375	2973.16	1003.44
April	0	2973.16	0.00
Mei	131	2973.16	350.54
Juni	0	2973.16	0.00
Juli	14	2973.16	37.46
Agustus	0	2973.16	0.00

September	0	2973.16	0.00
Oktober	0	2973.16	0.00
November	110	2973.16	294.34
Desember	199	2973.16	532.49
Jumlah	1630		4361.63

Dari Tabel 5 Tersebut dapat diketahui bahwa volume *green water* Gedung Graha Rektorat UM yaitu sebesar 4361.63 m³/tahun. Volume *green water* dipengaruhi oleh curah hujan dan area limpasan. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Nurdin et al. (2019) dimana besarnya potensi air hujan yang dapat ditampung dapat ditentukan dengan debit andalan, curah hujan, dan luasnya area tangkapan yang digunakan untuk memanen air hujan. Besarnya volume *green water* dapat dimanfaatkan sebagai sumber air bersih yang

tersedia setiap musim hujan yang berpotensi untuk mengurangi penggunaan *blue water*. Sebelum dimanfaatkan untuk mengurangi penggunaan *blue water*, *green water* harus memenuhi standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi. Kualitas *green water* sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017 dibagi menjadi tiga, yaitu kualitas fisik, biologi, dan kimia.

Tabel 6. Kualitas *Green Water*

No.	Parameter	Satuan	Kadar maksimum	Sampel			Keterangan
				1	2	3	
Fisik							
1	Warna	TCU	50	3.006	<0.3006	<0.3006	Memenuhi
2	TDS	mg/l	1000	18.4	14.9	391.8	Memenuhi
3	Suhu	°C	suhu udara ±3	26.4	26	26.4	Memenuhi
4	Rasa	-	0	1	1	1	Tidak
5	Bau	-	0	1	1	1	Tidak
Biologi							
1	<i>E. coli</i>	CFU/100 mL	0	10	2	2	Tidak
Kimia							
1	pH	-	6.5 – 8.5	7.1	7	6.9	Memenuhi
2	Besi	mg/l	1	<0.0208	<0.0208	<0.0208	Memenuhi
3	Fluorida	mg/l	1.5	0.1749	<0.0821	0.4883	Memenuhi
4	Kesadahan	mg/l	500	63	22	80	Memenuhi
5	Mangan	mg/l	0.5	<0.0104	0.039	0.2544	Memenuhi
6	Nitrat	mg/l	10	1.073	0.3183	3.232	Memenuhi
7	Nitrit	mg/l	1	0.0186	0.008	0.0005	Memenuhi
8	Sianida	mg/l	0.1	<0.0018	<0.0018	<0.0018	Memenuhi

Hasil uji kualitas *green water* pada Tabel 6 menunjukkan bahwa dari 3 sampel *green water* tidak memenuhi standar untuk parameter rasa, bau, dan *Escherichia coli*. Dengan metode organoleptik untuk parameter rasa dan bau diperoleh nilai yaitu 1 dengan batas ambang maksimum yang diijinkan yaitu 0. Hal ini menjelaskan bahwa ketiga sampel *green water* berasa dan berbau. Aktivitas bakteri yang

menggunakan zat besi atau belerang dan mengeluarkan gas hidrogen dan sulfida merupakan penyebab air berbau (Sari & Huljana, 2019). *Escherichia coli* merupakan kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator bahwa suatu produk telah tercemar oleh materi fekal, yaitu materi yang berada pada feses atau kotoran manusia dan hewan (Chaniago, 2017). Hasil uji kualitas *green water* untuk parameter

Escherichia coli sampel 1 sebesar 10 CFU/100 ml, sampel 2 dan 3 sebesar 2 CFU/100 ml. Dari hasil yang diperoleh bahwa ketiga sampel tersebut melebihi kadar maksimum *Escherichia coli* yang diijinkan yaitu 0 CFU/100 ml. Kandungan *Escherichia coli* yang tinggi pada *green water* berasal dari kontaminasi kotoran hewan yang terdapat pada atap gedung.

Dengan demikian kualitas *green water* pada Gedung Graha Rektorat UM tidak memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum. Sebagai alternatif lain, *green water* dapat dimanfaatkan sebagai pengganti untuk flushing toilet dan menyiram tanaman untuk mengurangi penggunaan *blue water*. Pada saat ini *green water* yang turun dari atap gedung dialirkan melalui pipa yang tertanam di dalam dinding

menuju ke saluran pembuangan air. Penambahan instalasi *rainwater harvesting* dengan sistem pengolahan sederhana perlu dilakukan sehingga *green water* dapat dimanfaatkan dengan baik serta dapat menghemat penggunaan *blue water*.

Grey Water Footprint

Grey water footprint dapat dikuantifikasikan dengan cara menghitung jumlah air yang digunakan untuk mengolah air yang tercemar sehingga kualitas air buangan tetap berada sama atau di atas standar kualitas air yang diizinkan (Hoekstra et al., 2009). *Grey water footprint* harus dilakukan untuk mengatasi masalah pencemaran badan air yang berasal dari pembuangan air limbah yang tidak diolah dari bisnis, industri, dan rumah (Yulistiyorini et al., 2019). Volume rata-rata *grey water* setiap harinya sebesar 5.492 m³ atau 5492 Liter dengan konsentrasi polutan *grey water* pada Tabel 7.

Tabel 7. Konsentrasi Polutan *Grey Water*

No.	Parameter	Satuan	Kadar maksimum	Sampel			Keterangan
				1	2	3	
1	BOD	mg/L	30	11.6	7.08	32.92	Tidak
2	COD	mg/L	100	40.37	23.58	103.7	Tidak
3	TSS	mg/L	30	18.6	5.7	9.2	Memenuhi
4	Minyak dan Lemak	mg/L	5	3.5	1.5	2.5	Memenuhi
5	pH	-	6 - 9	7.1	7.4	7.2	Memenuhi
6	Amoniak	mg/L	10	1.639	0.4453	3.137	Memenuhi
7	<i>Total Coliform</i>	MPN/100 mL	3000	500	500	280	Memenuhi

Hasil uji *grey water* pada Tabel 7 menunjukkan bahwa dari 3 sampel *grey water*, 1 sampel tidak memenuhi standar untuk parameter BOD dan COD. Dengan demikian perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui nilai *grey water footprint* pada parameter BOD dan COD agar konsentrasi polutan yang dilepaskan di badan air sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.P.68 Tahun 2016. Berdasarkan Tabel 4.24 dapat diketahui bahwa dari 3 sampel *grey water*

diperoleh kandungan BOD terbesar yaitu 32.92 mg/l dan kandungan COD terbesar yaitu 103.7 mg/l.

Konsentrasi polutan di badan air penerima harus memenuhi standar Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.P.68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Berdasarkan hasil uji dari 3 sampel air di badan air penerima diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 8. Konsentrasi Polutan di Badan Air Penerima

No.	Parameter	Satuan	Kadar maksimum	Sampel			Keterangan
				1	2	3	
1	BOD	mg/L	30	22.1	10.77	8.07	Memenuhi
2	COD	mg/L	100	79	35.87	24.94	Memenuhi
3	TSS	mg/L	30	34.8	5.9	5.2	Tidak
4	Minyak dan Lemak	mg/L	5	4.5	2.5	3	Memenuhi
5	pH	-	6 - 9	7.3	7.4	7.3	Memenuhi
6	Amoniak	mg/L	10	0.0202	3.836	7.2	Memenuhi

7	Total <i>Caliform</i>	MPN/100 mL	3000	900	800	1.161	Memenuhi
---	-----------------------	------------	------	-----	-----	-------	----------

Hasil uji di badan air penerima pada Tabel 8 menunjukkan bahwa dari 3 sampel air, 1 sampel tidak memenuhi standar untuk parameter TSS. Dengan demikian perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui nilai *grey water footprint* pada parameter TSS agar konsentrasi polutan di badan air sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.P.68 Tahun 2016. Berdasarkan Tabel 4.26 dapat diketahui bahwa dari 3 sampel *grey water* diperoleh kandungan TSS terbesar yaitu 34,8 mg/l.

Perhitungan *grey water footprint* untuk polutan BOD, yaitu:

$$Q_{act} = 5491.75 \text{ Liter/hari}$$

$$C_{act} = 33 \text{ mg/liter}$$

$$C_{nat} = 22 \text{ mg/liter}$$

$$C_{max} = 30 \text{ mg/liter}$$

$$WF_{grey \text{ BOD}} = \frac{Q_{act} \times (C_{actBOD} - C_{natBOD})}{C_{maxBOD} - C_{natBOD}}$$

$$WF_{grey \text{ BOD}} = \frac{5491.74 \times (33 - 22)}{30 - 22}$$

$$WF_{grey \text{ BOD}} = 7522 \text{ Liter/hari}$$

Perhitungan *grey water footprint* selanjutnya terdapat pada tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan *Grey Water Footprint*

No.	Parameter	Qact (L/hari)	Cact (mg/L)	Cnat (mg/L)	Cmax (mg/L)	WFi (L/hari)
1	BOD	5491.74	33	22	30	7522
2	COD	5491.74	104	79	100	6459
3	TSS	5491.74	19	35	30	18535

Berdasarkan Tabel 9 dapat diketahui besarnya nilai *grey water footprint* dari masing-masing jenis polutan. Semakin besar selisih konsentrasi polutan aktual dan natural dengan konsentrasi polutan maksimal yang diijinkan, maka semakin besar nilai *grey water footprint* polutan tersebut.

Grey water footprint pada Gedung Graha Rektorat UM yaitu:

$$WF_{grey \text{ BOD}} = 7522 \text{ Liter/hari}$$

$$WF_{grey \text{ COD}} = 6459 \text{ Liter/hari}$$

$$WF_{grey \text{ TSS}} = 18535 \text{ Liter/hari}$$

$$WF_{grey} = \max(WF_{grey \text{ BOD}}, WF_{grey \text{ COD}}, WF_{grey \text{ TSS}})$$

$$= \max(7522, 6459, 18535)$$

$$= 18575 \text{ Liter/hari}$$

$$= 18.575 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa nilai *grey water footprint* pada Gedung Graha Rektorat UM yaitu 18.575 m³/hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa air bersih sebesar 18.575 m³ harus dicampurkan dengan *grey water* agar konsentrasi polutan di badan air sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.P.68 Tahun 2016. *Grey water footprint* Gedung Graha Rektorat UM memiliki nilai yang cukup yang besar. Pada penelitian *blue water footprint* dihasilkan nilai sebesar 15.065 m³/hari, artinya konsumsi *blue water* sebesar 15.065 m³ dalam sehari. Nilai *blue water*

footprint lebih besar daripada nilai *grey water footprint*. Hal ini menunjukkan bahwa dibutuhkan lebih banyak air untuk mengolah *grey water* daripada untuk memenuhi kebutuhan air di gedung itu sendiri. Sehingga pengolahan *grey water* dengan cara penambahan *blue water* tidak berkelanjutan baik dalam jangka waktu panjang maupun menengah. Oleh sebab itu, maka diperlukan pengolahan *grey water* dengan metode lain terlebih dahulu sebelum membuangnya ke badan air penerima.

Overhead Operational Water Footprint

Overhead operational water footprint adalah konsumsi air dan polusi yang terkait dengan aktivitas penggunaan air secara umum di unit bisnis (Hoekstra et al., 2009). *Overhead operational water footprint* merupakan penjumlahan dari *blue water footprint*, *green water footprint*, dan *grey water footprint* (Budiman, 2017). *Overhead operational water footprint* Gedung Graha Rektorat UM hanya berasal dari *blue water footprint* karena gedung tersebut belum memanfaatkan *green water* sebagai konsumsi air dan belum melakukan pengolahan *grey water* dengan cara penambahan air bersih. Sehingga *overhead operational water footprint* Gedung Graha Rektorat UM sama dengan nilai *blue water footprint* yaitu 5628 m³ selama Januari – September 2021.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan dari hasil penelitian di atas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *blue*, *green*, dan *grey water footprint* pada Gedung di kampus UM dengan objek Graha Rektorat masing-masing sebesar 5628 m³ selama Januari – September 2021, 4361.43 m³/tahun, dan 18.575 m³/hari. Sedangkan untuk nilai *overhead operational water footprint* sama dengan nilai *blue water footprint* yaitu 5230 m³ selama Januari – September 2021 dan kualitas *green water* tidak memenuhi Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum.

Berdasarkan hasil tersebut maka *green water* harus melalui proses pengolahan terlebih dahulu agar sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 32 Tahun 2017 sebagai keperluan higiene sanitasi. Besarnya *green* dan *grey water footprint* dapat dimanfaatkan untuk flushing toilet dan menyiram tanaman untuk mengurangi penggunaan *blue water*, sehingga konsep *green building* dapat terwujud.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh Dana Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (PPM) Nomor 5.3.797/UN32.14.1/LT/2021 sumber dana PNPB Universitas Negeri Malang Tahun Anggaran 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Asnaning, A. R., Surya, & Saputra, E. (2018). "Uji Kualitas Air Hujan Hasil Filtrasi untuk Penyediaan Air Bersih Rainwater Quality Test From Filtration Result for Clean Water Supply". *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Pertanian VII Polinela*.
- BPS. (2019). *Badan Pusat Statistik 2019*.
- Budiman, M. E. (2017). "Water Footprint Produksi Gula Tebu". *Jurnal Rekayasa, Teknologi, Dan Sains*, 1(2), 120–131.
- Chaniago, E. A. (2017). *Pemeriksaan Bakteri Escherichia coli pada Beberapa Sampel Air Bersih yang Diambil di Laboratorium Mikrobiologi BTKL-PP Kelas 1 Medan*.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2009). *Water Footprint Manual State of the Art 2009* (Issue January).
- Idhar, C., & Yuwono, B. E. (2019). "Analisis Potensi Peningkatan Sertifikasi Green Building terhadap Konservasi Air Gedung Waskita". *September*, 99–102.
- Nurdin, A., Lembang, D., & Kasmawati, K. (2019). "Model Pemanenan Dan Pengolahan Air Hujan Menjadi Air Minum". *Teknik Hidro*, 12(2), 11–19.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum*. (n.d.).
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor:P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*. (n.d.).
- Pradana, M., & Reventiary, A. (2016). "Pengaruh Atribut Produk Terhadap Keputusan Pembelian Sepatu Merek Customade (Studi di Merek Dagang Customade Indonesia)". *Jurnal Manajemen*, 6(1), 1–10.
- Sari, M., & Huljana, M. (2019). "Analisis Bau, Warna, TDS, pH, dan Salinitas Air Sumur Gali di Tempat Pembuangan Akhir". *Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, 3(1), 1–5.
- Wang, L., Ding, X., & Wu, X. (2013). "Blue and grey water footprint of textile industry in China". *Water Science and Technology*, 68(11), 2485–2491. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.532>
- Widiyanto, A. F., Yuniarno, S., & Kuswanto. (2015). "Polusi Air Tanah Akibat Limbah Industri dan Limbah Rumah Tangga". *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(2), 246–254.
- Yulistiyorini, A., Puspasari, A. K., Mujiyono, & Sari, A. A. (2019). "Removal of BOD and TSS of Student Dormitory Greywater using Vertical Sub-Surface Flow Constructed Wetland of Ipomoea Aquatica". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 515(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/515/1/012056>