

Pembatasan dalam Pemanfaatan Air Hasil Daur Ulang IPAL pada Universitas

Vittorio Kurniawan¹, Widodo Kushartomo¹, Kevin¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, email: vkurniawan@ft.untar.ac.id

Sejarah artikel

Diserahkan: 23 Agustus 2023
Dalam bentuk revisi: 25 Agustus 2023

Diterima: 30 September 2023
Tersedia online: Oktober 2023

Abstract

A building requires freshwater every day to satisfy its users' demands. Amid the water shortage issue, one available solution is to utilize the reclaimed/recycled water from sewage treatment plant (STP). This research investigates how optimum is the reclaimed water in meeting a university's water demand. The subject of the study is a university in DKI Jakarta, Indonesia. The data used are the water supply from the STP and the total water usage from the regional water supplier. The water usage is broken down according to its usage type i.e. the building users (toilet and non-toilet), the plants watering, the building cleaning, and the pond filling. The study estimates, that if the reclaimed water is reused, only 28,20 % can be utilized while the rest of 71,80 % must be discharged. This is not ideal because the recycled water should be utilized optimally. There are several causes i.e. the ugly public perception about the STP recycled water, the water quality which does not qualify the technical criteria, and the existing plumbing system which mixes the water for toilet flushing with other uses.

Keywords: STP, domestic sewage, reclaimed water, restriction

Abstrak

Suatu bangunan memerlukan air setiap hari untuk memenuhi kebutuhan penghuninya. Di tengah masalah kekurangan air, salah satu solusi yang ada adalah pemanfaatan air yang didaur ulang oleh instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Artikel ini mempelajari seberapa optimal air olahan IPAL dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari pada suatu universitas. Penelitian dilakukan di suatu universitas di DKI Jakarta, Indonesia. Data yang dipakai adalah ketersediaan air dari IPAL dan kebutuhan air total dari PDAM. Data kebutuhan air dipecah berdasarkan tipe penggunaan yaitu untuk penghuni (toilet dan non-toilet), penyiraman tanaman, kebersihan bangunan, dan kolam. Hasil penyelidikan memperkirakan, bila air daur ulang IPAL akan dimanfaatkan, hanya 28,20 % yang bisa dipakai sedangkan sisa 71,80 % harus dibuang. Ini tidak ideal karena sebaiknya air daur ulang mampu dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk mengurangi pemakaian sumber daya air yang makin terbatas. Ada berbagai faktor penyebab yaitu persepsi publik yang buruk mengenai air daur ulang IPAL, mutu air yang tidak memenuhi persyaratan, dan jaringan pipa eksisting yang mencampur sistem pembilasan toilet dengan air bersih lainnya.

Kata kunci: IPAL, limbah cair domestik, air daur ulang, pembatasan

1. Pendahuluan

Air merupakan suatu unsur penting dalam kehidupan makhluk hidup, khususnya manusia. Namun faktanya, hasil proyeksi jumlah air dunia oleh beberapa organisasi internasional pada tahun terakhir ini sangat mengkhawatirkan. PBB menyatakan bahwa pada tahun 2022, terdapat 2,2 miliar orang yang tidak memiliki akses ke air bersih (Perserikatan Bangsa-Bangsa, 2023). Bank Dunia juga mengklaim sekitar 1,8 miliar orang akan hidup dibawah kelangkaan air pada tahun 2025 dan 40 % dari populasi dunia akan kekurangan air pada tahun 2030 (Bank Dunia,

2019). The World Resources Institute (WRI) mengklaim 36 negara akan menghadapi krisis air yang sangat tinggi (Biswas & Tortajada, 2019). Jumlah air yang tersedia per orang di dunia telah dan terus berkurang karena penambahan penduduk, polusi air, perencanaan dan pengelolaan yang tidak memadai dan pengoperasian sistem pasokan serta distribusi air yang tidak efisien (Sivakumar, 2011).

Di Indonesia sendiri, di tahun 2006 hanya 30,8% rumah tangga di daerah perkotaan dan 9% di daerah perdesaan dengan rata-rata 18,4% di seluruh negeri yang memiliki akses air perpipaan, di tahun 2017 sebesar 72,04% rumah tangga yang memiliki sumber air layak serta hampir 65% air sungai dalam keadaan tercemar berat (Elysia, 2018). Hal tersebut menyebabkan air yang tersedia tidak lepas dari pengaruh pencemaran karena fenomena alam (seperti debu vulkanik dari letusan gunung berapi) maupun akibat ulah manusia dengan beberapa bahan pencemar seperti bahan mikrobiologi (bakteri, virus, parasit), bahan organik (pestisida, deterjen), dan beberapa bahan anorganik (garam, asam, logam), serta beberapa bahan kimia lainnya sudah banyak ditemukan dalam air yang kita gunakan (Suryani, 2016). Air yang sudah tercemar tersebut disamping terasa tidak enak kalau diminum juga dapat menyebabkan gangguan kesehatan terhadap orang yang meminumnya (Darmono, 2001). Hal tersebut menimbulkan rasa khawatir atas krisis pada kebutuhan air bersih.

Menipisnya sumber daya alam dan tantangan dalam mengatasi perubahan iklim telah menyebabkan untuk mempertimbangkan kembali keberlanjutan sanitasi dan IPAL (instalasi pengolahan air limbah) (Lehtoranta et al., 2022). Pembangunan IPAL bertujuan untuk menghilangkan kontaminan seperti patogen, polutan organik, yang lainnya dari air limbah menggunakan proses fisik, biologis, dan/atau kimia sebelum dibuang ke badan air penerima (Macedo et al., 2021). IPAL dapat berfungsi sumber nutrisi, energi serta sumber air tambahan yang berharga (Bisschops et al., 2019; Rodriguez et al., 2020; Salgot & Folch, 2018; Van Der Hoek et al., 2016). Penggunaan IPAL banyak digunakan oleh berbagai negara, contohnya untuk irigasi, pembangkit listrik, pembilasan toilet di Tiongkok (Xuan & Xu, 2009), pembilasan toilet, industri, restorasi aliran dan augmentasi aliran pada negara Jepang (Asano & Levine, 1996), dan pengolahan menjadi air minum pada negara United States, Namibia, Australia, Belgia, United Kingdom, Afrika Selatan dan Singapura (U.S. Environmental Protection Agency, 2017). Di Indonesia sendiri, penggunaan IPAL telah mengurangi genangan air ataupun bau yang timbul akibat limbah air rumah tangga, contohnya pada desa di Jawa Barat (Yunita et al., 2019).

Dengan adanya IPAL, penggunaan air dapat dikurangi dan tagihan air PDAM. Namun, penggunaan air IPAL belum dapat sepenuhnya diterima oleh masyarakat yang disebabkan karena ketidakpercayaan masyarakat akan keamanan dan kebersihan dari air olahan IPAL (Drechsel et al., 2015; Verhoest et al., 2022). Selain itu, integrasi IPAL dengan sistem pipa (plumbing) eksisting pada bangunan tidak mudah untuk dilakukan. Akibatnya, ada potensi air IPAL tidak dapat dimanfaatkan sepenuhnya walaupun jumlahnya banyak.

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini bertujuan untuk meninjau seberapa optimal suatu bangunan dapat memanfaatkan air dari hasil daur ulang limbah cair domestik. Artikel ini akan membandingkan berapa volume air olahan IPAL yang tersedia dan berapa banyak yang mampu digunakan untuk memenuhi kegiatan sehari-hari.

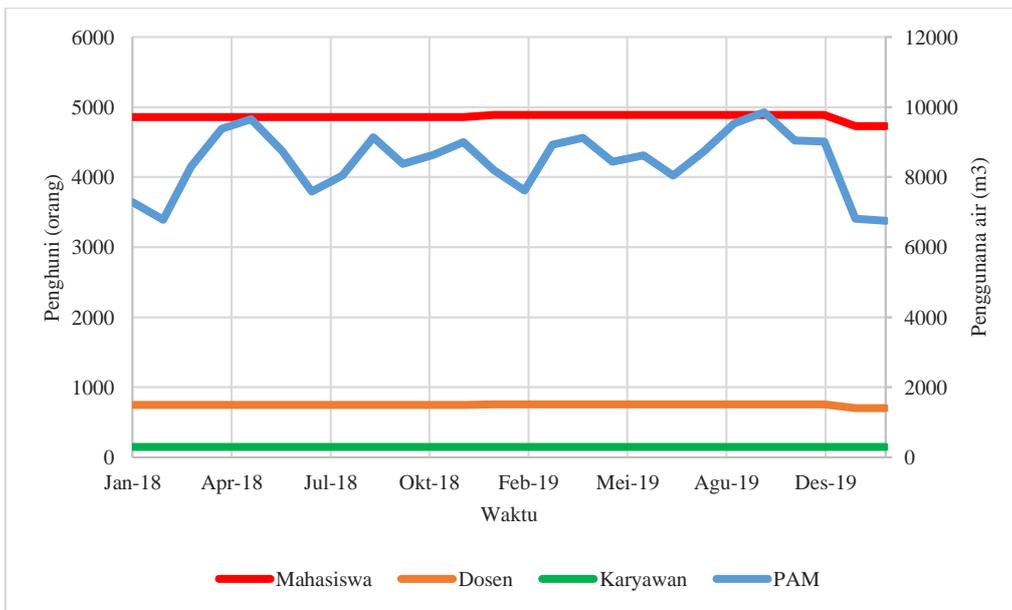
2. Metodologi

Lokasi penelitian adalah suatu universitas yang berlokasi di DKI Jakarta, Indonesia. Universitas ini memiliki 3 unit IPAL dengan kapasitas masing-masing 150 m³/hari, 150 m³/hari, dan 90 m³/hari. Untuk saat ini, universitas tidak memanfaatkan air olahan IPAL sama sekali melainkan membuangnya langsung. Air dari PDAM menjadi satu-satunya sumber air untuk memenuhi kebutuhan air domestik sehari-hari. Air bersih dibutuhkan setiap harinya untuk keperluan domestik (toilet, cuci tangan, dll), penyiraman tanaman, membersihkan gedung, dan mengisi kolam.

Untuk membandingkan volume ketersediaan air IPAL dan kebutuhan air, dibutuhkan beberapa data terkait dari universitas ini. Berikut adalah data-data yang diperlukan beserta cara mendapatkannya:

- a. Ketersediaan air IPAL
 Didapat dengan memasang flowmeter pada outlet dari ketiga IPAL yang ada dari Maret 2022 sampai Juni 2022.
- b. Kebutuhan air PDAM
 Didapat dengan meminta bukti pembayaran dari universitas ke PDAM. Data yang tersedia adalah dari tahun 2017 sampai 2021 (Tabel 1).
- c. Jumlah pemakai air
 Didapat dengan meminta jumlah mahasiswa, dosen, dan karyawan (satpam, tata usaha, pembersih, dll). Data yang tersedia adalah dari tahun 2018 sampai 2022 (Tabel 2).

Akan tetapi, tetap cukup sulit untuk memperkirakan jumlah mahasiswa yang hadir di universitas. Hal ini diperparah dengan adanya pandemi COVID-19 di mana jumlah penghuni gedung menjadi sangat tidak tentu. Karena itu, penelitian ini hanya menganalisis data sebelum pandemi merebak yaitu sebelum Maret 2020. Lalu, diasumsikan bahwa kurang lebih ada 50 % dari mahasiswa yang datang ke kampus. Grafik yang memperkirakan jumlah orang pada universitas dengan volume pemakaian air ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik jumlah penghuni universitas dan penggunaan air PAM (Januari 2018 – Februari 2020)

Tabel 1. Kebutuhan air total di universitas

No	Bulan	Pemakaian air (m ³)				
		2017	2018	2019	2020	2021
1	Januari	7398	7290	8197	6809	3450
2	Februari	6715	6785	7625	6755	3119
3	Maret	6507	8304	8926	9173	3238
4	April	7942	9374	9122	5662	3330
5	Mei	8372	9650	8436	4353	4195
6	Juni	7896	8743	8614	3745	3208
7	Juli	9111	7594	8041	4360	3337
8	Agustus	8142	8036	8728	4959	2587
9	September	-	9135	9539	4319	2824
10	Oktober	8417	8383	9854	3884	3450
11	Novermber	9289	8639	9040	4198	2975
12	Desember	8907	8995	9019	3810	2193

Tabel 2. Jumlah orang di universitas

	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022
Mahasiswa	9718	9770	9456	9203
Dosen	748	752	699	699
Karyawan	148	148	148	148

- d. Volume air untuk menyiram tanaman
 Didapat dengan melakukan investigasi lapangan. Universitas menyiram tanaman dengan selang. Penulis memperkirakan volume dengan menampung air yang keluar dari selang lalu mencatat waktunya. Lalu, penulis mengukur waktu yang dibutuhkan untuk menyiram tanaman dalam satu hari. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali dan hasilnya kemudian dirata-ratakan.
- e. Volume air untuk membersihkan bangunan
 Didapat dengan menghitung volume air yang dibutuhkan petugas kebersihan untuk mengelap atau mengepel.
- f. Volume air untuk mengisi kolam
 Didapat dengan wawancara langsung dengan pengelola bangunan.
- g. Kualitas air
 Didapat dengan mengambil sampel air IPAL lalu dibawa ke laboratorium untuk diuji.

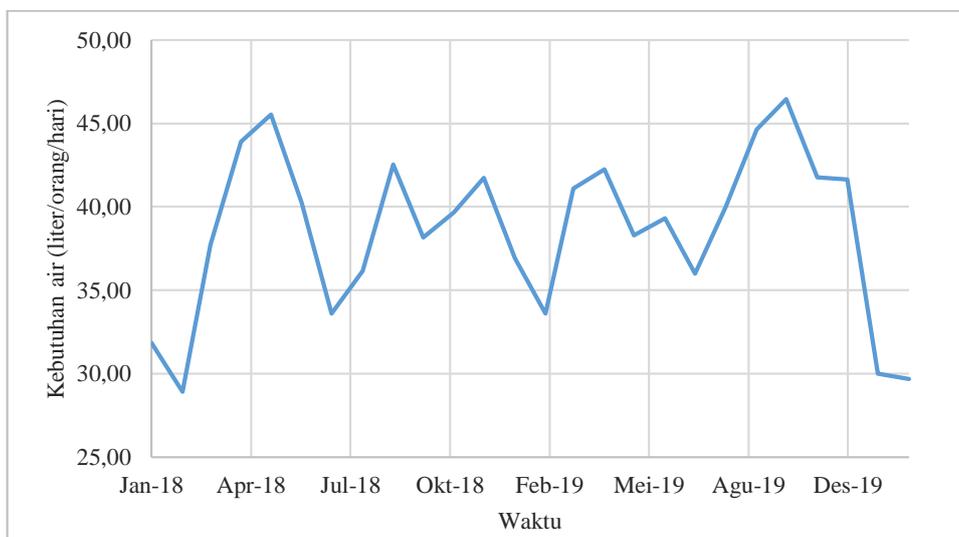
3. Hasil

Hasil pengukuran kebutuhan air untuk non-penghuni ditunjukkan pada Tabel 3. Tabel ini menunjukkan bahwa kebutuhan air untuk menyiram tanaman lebih besar daripada untuk membersihkan bangunan atau untuk mengisi kolam.

Tabel 3. Kebutuhan air untuk non-penghuni

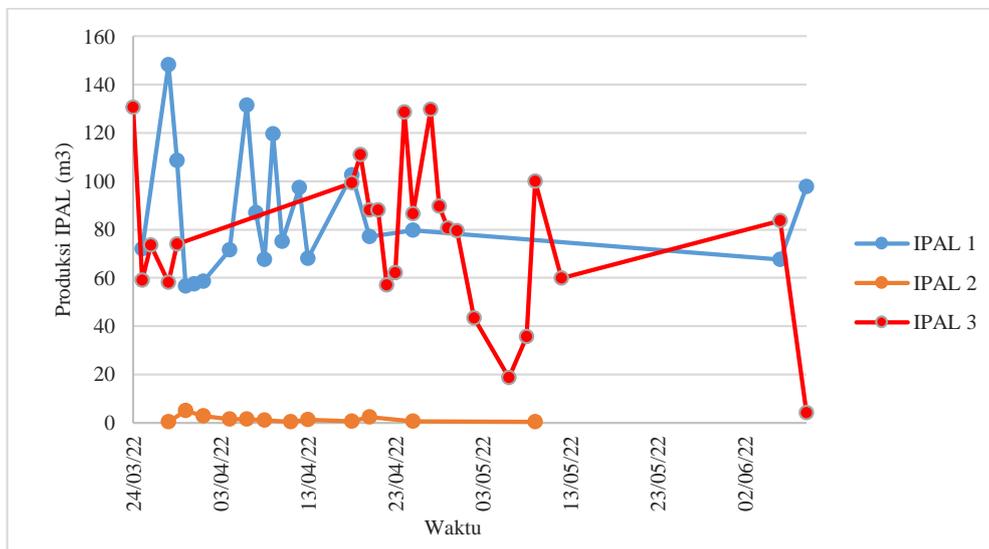
	Tanaman	Bangunan	Kolam	Total
Kebutuhan (m ³ /hari)	27,52	14,00	18,20	59,73
Kebutuhan (m ³ /bulan)	825,71	420,12	546,00	1791,83

Gambar 2 menampilkan volume air yang dibutuhkan penghuni universitas setiap harinya. Nilai ini didapat dari volume air PAM (Tabel 1) dikurang volume penggunaan air non-penghuni (Tabel 3) lalu dibagi dengan jumlah orang (Gambar 1). Rata-rata kebutuhan air untuk universitas sebelum pandemi (Januari 2018 – Februari 2020) adalah 38,52 liter/orang/hari. Kebutuhan air selama pandemi tidak dihitung karena sulitnya memperkirakan jumlah orang yang hadir. Namun, nilainya diperkirakan lebih tinggi daripada masa non-pandemi karena orang harus sering mencuci tangan atau melakukan kebutuhan sanitasi lain.



Gambar 2. Kebutuhan air per hari per orang pada universitas

Gambar 3 menunjukkan hasil pencatatan produksi IPAL dari Maret 2022 sampai Juni 2022. Terlihat bahwa jumlah limbah yang diolah oleh IPAL tidak stabil setiap harinya melainkan fluktuatif. Selain itu, ada tiga unit IPAL dan setiap unit mengolah volume yang berbeda-beda. Volume harian hasil pengolahan IPAL pada tiap unit terdapat pada Tabel 4. Penjumlahan ketiganya mengindikasikan bahwa setiap harinya IPAL di universitas menghasilkan 162,13 m³/hari limbah domestik cair yang diolah.



Gambar 3. Volume produksi IPAL selama periode pengamatan

Tabel 4. Produksi IPAL rata-rata selama periode pengamatan (Maret 2022 – Juni 2022)

	IPAL 1	IPAL 2	IPAL 3	Total
Produksi IPAL (m ³ /hari)	86,47	1,36	74,30	162,13

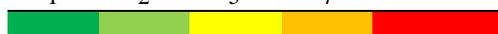
Tabel 5. Hasil tes mutu air PDAM dan hasil pengolahan IPAL

Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Hasil Analisis Air PDAM	Hasil Analisis Air IPAL
Temperatur	C	-	-	-	-	28,4	28,1
Padatan Terlarut total (TDS)	mg/L	1000	1000	1000	1000	212	222
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/L	40	50	100	400	< 5	< 5
Warna	-	15	50	100	-	< 1	< 1
Derajat Keasaman (pH)	mg/L	-	-	-	-	< 7,9	< 8,3
Amonia	mg/L	0.1	0.2	0.5	-	< 0,1	< 0,1
Arsen Terlarut	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.1	< 0,01	< 0,01
Barium Terlarut	mg/L	1	-	-	-	< 0,6	< 0,6
Besi Terlarut	mg/L	0.3	-	-	-	< 0,01	< 0,01
Boron Terlarut	mg/L	1	1	1	1	< 0,01	< 0,01
BOD	mg/L	2	3	6	12	< 3	< 3
COD	mg/L	10	25	40	80	< 10	< 10
Fenol	mg/L	0.002	0.005	0.01	0.02	0,067	0,055
Fluorida	mg/L	1	1.5	1.5	-	< 0,03	< 0,03
Kadmium Terlarut	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	< 0,01	< 0,01
Klorida	mg/L	300	300	600	-	15	19
Klorin bebas	mg/L	-	-	-	-	< 0,01	< 0,01
Kobal Terlarut	mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	< 0,05	< 0,05
Krom Heksaven	mg/L	0.05	0.05	0.05	1	< 0,01	< 0,01
Oksigen Terlarut	mg/L	6	4	3	1	6,8	6,8
Mangan Terlarut	mg/L	0.1	-	-	-	0,024	0,024
Merkuri Terlarut	mg/L	0.001	0.002	0.002	0.005	< 0,001	< 0,001
Nikel Terlarut	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.1	< 0,05	< 0,05

Parameter	Unit	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	Hasil Analisis Air PDAM	Hasil Analisis Air IPAL
Minyak dan Lemak	mg/L	1	1	1	10	< 5	< 5
Nitrat	mg/L	10	10	20	20	0,6	0,89
Nitrit	mg/L	0,06	0,06	0,06	-	0,003	0,006
Seng Terlarut	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1	< 0,06	< 0,002
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	-	< 0,002	< 0,002
Sulfida	mg/L	0,002	0,002	0,002	-	< 0,02	< 0,02
Sulfat	mg/L	300	300	300	400	59	35
Surfaktan Anion	mg/L	0,2	0,2	0,2	-	< 0,02	< 0,02
Tembaga Terlarut	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	< 0,03	< 0,03
Timbal Terlarut	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,5	< 0,1	< 0,1
Total Nitrogen	mg/L	15	15	25	-	0,6	0,9
Total Fosfat	mg/L	0,2	0,2	1	-	< 0,01	< 0,01
Total Coliform	APM/100ml	1000	5000	10000	10000	< 2	< 2
Fecal Coliform	APM/100ml	100	1000	2000	2000	< 2	< 2

Keterangan:

Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	< kelas 4
---------	---------	---------	---------	-----------



Tabel 5 memperlihatkan hasil uji mutu air hasil pengolahan IPAL yang dibandingkan dengan mutu air PDAM yang biasa dipakai. Kedua jenis air ini juga dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (2021).

4. Diskusi/Pembahasan

Hasil pengujian kualitas air pada Tabel 5 menunjukkan bahwa mutu air IPAL tidak berbeda jauh dengan mutu air PDAM. Keduanya memiliki mutu yang baik kecuali di beberapa aspek. Dengan mempertimbangkan mutu air serta persepsi publik yang enggan memakai air hasil daur ulang limbah, air IPAL hanya akan digunakan untuk keperluan yang tidak menyentuh manusia. Artinya, air IPAL tidak akan dipakai untuk manusia (toilet, cuci tangan, dll) atau membersihkan bangunan melainkan hanya akan dipakai untuk menyiram tanaman dan mengisi air kolam.

Dari Tabel 3, terlihat bahwa volume air untuk tanaman dan kolam adalah $27,52 \text{ m}^3/\text{hari} + 18,20 \text{ m}^3/\text{hari} = 45,72 \text{ m}^3/\text{hari}$. Nilai ini relatif kecil dibandingkan volume produksi IPAL rata-rata yaitu $162,13 \text{ m}^3/\text{hari}$. Maka, bila air IPAL dipakai untuk menyiram tanaman dan mengisi kolam, hanya 28,20 % air IPAL yang terpakai sedangkan 71,80 % -nya harus terbuang.

Kebutuhan air untuk membilas toilet diperkirakan sebesar 30 liter/orang/hari menurut Roshan & Kumar (2020) yang membandingkan beberapa penelitian di Thailand (Otaki et al., 2008), Vietnam (2013), dan negara-negara lainnya. Penelitian di India juga menunjukkan hal yang sama (Welling et al., 2020). Karena itu, nilai kebutuhan air sebesar 30 liter/orang/hari juga bisa diasumsikan dipakai di Indonesia.

Pada periode pengamatan yaitu Maret 2022 – Juni 2022, jumlah orang di universitas adalah jumlah dosen dan karyawan. Baru sebagian mahasiswa yang masuk karena situasi pandemi. Karena jumlah mahasiswa di universitas sulit diketahui, diasumsikan bahwa hanya 25 % dari total mahasiswa yang masuk yaitu $0,25 * 9203 \text{ orang}$ (lihat Tabel 2) = 2300 orang. Karena itu, jumlah pengguna bangunan pada universitas adalah $699 \text{ orang} + 148 \text{ orang} + 2300 \text{ orang} \approx 3000 \text{ orang}$.

Gambar 4 memperlihatkan proporsi ketersediaan air IPAL dan kebutuhan air di universitas secara visual. Grafik batang kebutuhan air diurutkan dari bawah ke atas, di mana yang paling atas adalah kebutuhan yang paling sensitif terhadap jenis air yang dipakai. Penjelasan dari tiap komponen dari grafik batang Gambar 4 adalah:

- 1) Tanaman: kebutuhan air untuk menyiram tanaman = $27,52 \text{ m}^3/\text{hari}$ (**Error! Reference source not found.**)

- 2) Kolam: kebutuhan air untuk mengisi kolam = $18,20 \text{ m}^3/\text{hari}$ (**Error! Reference source not found.**)
- 3) Toilet: kebutuhan air untuk membilas toilet yaitu jumlah orang dikali kebutuhan air toilet = $3000 \text{ orang} * 30 \text{ l/orang/hari} = 90 \text{ m}^3/\text{hari}$
- 4) Bangunan: kebutuhan air untuk membersihkan gedung = $14 \text{ m}^3/\text{hari}$ (**Error! Reference source not found.**)
- 5) Penghuni (non-toilet): kebutuhan air untuk penghuni universitas selain membilas toilet (cuci tangan, cuci piring dll) yaitu jumlah orang dikali kebutuhan rata-rat per orang dikurang kebutuhan toilet = $3000 \text{ orang} * (38,52 \text{ liter/hari} - 30 \text{ liter/hari}) = 25,56 \text{ m}^3/\text{hari}$
- 6) IPAL: produksi rata-rata IPAL per hari = $162,13 \text{ m}^3/\text{hari}$ (**Error! Reference source not found.**)



Gambar 4. Perbandingan proporsi jenis kebutuhan air dengan ketersediaan air IPAL

Rasio pemakaian air IPAL akan meningkat drastis bila air IPAL bisa digunakan untuk membilas toilet. Volume air yang bisa dipakai meningkat menjadi $27,52 \text{ m}^3/\text{hari} + 18,20 \text{ m}^3/\text{hari} + 90 \text{ m}^3/\text{hari} = 135,72 \text{ m}^3/\text{hari}$. Nilai ini adalah 83,71 % dari rata-rata produksi IPAL. Akan tetapi, universitas tidak memiliki sistem pipa (plumbing) yang memisahkan air khusus dari IPAL dan dari PDAM. Maka, pemanfaatan air IPAL harus melalui sistem pipa eksisting. Hal ini bisa mendapat tentangan dari penghuni universitas karena mereka tidak mau menggunakan air hasil daur ulang limbah domestik.

Mahasiswa akan kembali berkuliah normal ketika pandemi usai. Jumlah pengguna bangunan akan meningkat, namun nilainya di masa depan sulit untuk diprediksi. Terlepas dari berapapun jumlahnya. Hampir semua air yang diolah IPAL merupakan hasil dari air limbah domestik dari pemakai bangunan. Karena itu, kenaikan produksi IPAL bisa diasumsikan berbanding lurus dengan jumlah penghuni bangunan. Namun, nilai ini akan dibatasi oleh kapasitas IPAL yang tersedia yaitu $150 \text{ m}^3/\text{hari}$, $150 \text{ m}^3/\text{hari}$, dan $90 \text{ m}^3/\text{hari}$ yang totalnya adalah $390 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Volume air yang dibutuhkan untuk tanaman, kebersihan gedung, dan kolam bisa diasumsikan sama di masa depan. Namun, jumlah orang di universitas bisa berubah. Bila jumlahnya terus bertambah di masa depan maka kebutuhan air dan ketersediaan air IPAL akan bertambah. Karena air IPAL sejauh ini hanya bisa digunakan untuk tanaman dan kolam saja, artinya akan lebih banyak lagi air IPAL yang terbuang sia-sia bila tidak dimanfaatkan untuk membilas toilet.

Penelitian ini memperlihatkan faktor-faktor yang membatasi penggunaan air hasil daur ulang limbah domestik yaitu persepsi publik, kualitas air, dan jaringan pipa eksisting.. Ada beberapa

alternatif solusi untuk memaksimalkan air IPAL dalam memenuhi kebutuhan air sehari-hari pada universitas yaitu:

- a. Persepsi publik
Masyarakat akan enggan menggunakan air hasil pengolahan limbah domestik untuk keperluan yang mempunyai kontak langsung dengan pengguna, misalnya mandi, cuci tangan, cuci pakaian dll atau untuk ibadah. Mereka akan menolak memanfaatkan air daur ulang terlepas seberapa baik kualitas teknis air karena faktor norma, psikologi, sosial, spiritual dan faktor non-teknis lainnya.
- b. Jaringan pipa eksisting
Faktor ini masih berhubungan dengan persepsi publik. Banyak bangunan yang tidak memisahkan jaringan pipa PDAM dengan air hasil daur ulang IPAL. Karena itu, mereka tidak akan menggunakan air yang sudah tercampur dengan air IPAL. Salah satu solusinya adalah dengan membuat jaringan pipa yang memisahkan air dari PDAM dan IPAL. Pipa air PDAM bisa dipakai untuk semua kebutuhan sedangkan pipa air IPAL mendistribusikan air untuk membilas toilet. Dengan begitu, lebih banyak air IPAL yang dapat dimanfaatkan. Apalagi jumlah orang berbanding lurus terhadap ketersediaan air IPAL sehingga volumenya bisa mengikuti volume kebutuhan air toilet yang bertambah juga. Namun, hal ini membutuhkan renovasi jaringan pipa eksisting secara menyeluruh yang membutuhkan waktu dan biaya yang besar. Diperlukan suatu penelitian yang menganalisis apakah usaha ini layak dikerjakan.
- c. Kualitas air produksi IPAL
Pemilik bangunan bisa memperbaiki kualitas air daur ulang dengan menggunakan fasilitas IPAL yang lebih bagus. Secara teknis, air akan aman digunakan untuk semua keperluan bila semua parameter pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (2021) sudah mencapai kelas 1. Akan tetapi, memperbaiki mutu air IPAL berarti dibutuhkan investasi yang lebih besar untuk IPAL yang lebih baik. Namun, faktor persepsi publik bisa tetap menjadi kunci. Belum tentu penghuni bangunan akan mau menggunakan air hasil daur ulang limbah domestik sekalipun mutu air sudah lebih dari layak.

5. Kesimpulan

Penelitian pada suatu universitas di Jakarta menunjukkan bahwa air hasil daur ulang limbah domestik tidak dapat sepenuhnya dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari. Hasil penyelidikan memperkirakan hanya 28,20 % air olahan IPAL yang dapat dimanfaatkan sedangkan 71,80 % sisanya harus dibuang. Rasio air IPAL yang terbuang akan meningkat bila jumlah penghuni bangunan bertambah sedangkan air IPAL tidak dapat digunakan untuk membersihkan toilet. Hal ini disayangkan karena universitas atau bangunan pada umumnya membutuhkan banyak air dalam aktivitas sehari-hari, namun air dari IPAL dalam jumlah besar tidak dapat digunakan. Pada umumnya, ada tiga faktor utama yang membatasi penggunaan air daur ulang limbah domestika yaitu persepsi publik, jaringan pipa eksisting, dan kualitas air dari IPAL. Persepsi publik menjadi faktor utama dan hal ini juga mempengaruhi kedua faktor lainnya.

6. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Tarumanagara yang telah mendanai penelitian ini.

7. Referensi

- Asano, T., & Levine, A. D. (1996). Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present, and future. *Water Science and Technology*, 33(10–11). [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00401-5](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00401-5)
- Bank Dunia. (2019). *Working Together for a Water-Secure World*.

- Bisschops, I., Kjerstadius, H., Meulman, B., & Van Eekert, M. (2019). Integrated nutrient recovery from source-separated domestic wastewaters for application as fertilisers. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 40, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.06.010>
- Biswas, A. K., & Tortajada, C. (2019). Water crisis and water wars: Myths and realities. *International Journal of Water Resources Development*, 35(5), 727–731. <https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1636502>
- Darmono. (2001). *Lingkungan hidup dan pencemaran: Hubungannya dengan toksikologi senyawa logam*. UI Press.
- Drechsel, P., Mahjoub, O., & Keraita, B. (2015). Social and Cultural Dimensions in Wastewater Use. In P. Drechsel, M. Qadir, & D. Wichelns (Eds.), *Wastewater* (pp. 75–92). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9545-6_5
- Elysia, V. (2018). *Air Dan Sanitasi: Dimana Posisi Indonesia?* Seminar Nasional FMIPA Universitas Terbuka 2018.
- Lehtoranta, S., Malila, R., Särkilahti, M., & Viskari, E.-L. (2022). To separate or not? A comparison of wastewater management systems for the new city district of Hiedanranta, Finland. *Environmental Research*, 208, 112764. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112764>
- Macedo, H. E., Lehner, B., Nicell, J., Grill, G., Li, J., Limtong, A., & Shakya, R. (2021). *Global distribution of wastewater treatment plants and their released effluents into rivers and streams* [Preprint]. Hydrology and Soil Science – Hydrology. <https://doi.org/10.5194/essd-2021-214>
- Otaki, Y., Otaki, M., Bao, P. N., Nga, T. T. V., & Aramaki, T. (2013). Micro-component survey of residential water consumption in Hanoi. *Water Supply*, 13(2), 469–478. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.029>
- Otaki, Y., Otaki, M., Pengchai, P., Ohta, Y., & Aramaki, T. (2008). Micro-components survey of residential indoor water consumption in Chiang Mai. *Drinking Water Engineering and Science*, 1.
- Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, 22 (2021).
- Perserikatan Bangsa-Bangsa. (2023). *The Sustainable Development Goals Report 2023: Special edition*.
- Rodriguez, D. J., Serrano, H. A., Delgado, A., Nolasco, D., & Saltiel, G. (2020). *From Waste to Resource: Shifting Paradigms for Smarter Wastewater Interventions in Latin America and the Caribbean*. The World Bank.
- Roshan, A., & Kumar, M. (2020). Water end-use estimation can support the urban water crisis management: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 268, 110663. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110663>
- Salgot, M., & Folch, M. (2018). Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>
- Sivakumar, B. (2011). Water crisis: From conflict to cooperation—an overview. *Hydrological Sciences Journal*, 56(4), 531–552. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.580747>
- Suryani, A. S. (2016). *Persepsi Masyarakat dalam Pemanfaatan Air Bersih (Studi Kasus Masyarakat Pinggir Sungai di Palembang)*. 7(1).
- U.S. Environmental Protection Agency. (2017). *2017 Potable Reuse Compendium*.
- Van Der Hoek, J. P., De Fooij, H., & Strucker, A. (2016). Wastewater as a resource: Strategies to recover resources from Amsterdam’s wastewater. *Resources, Conservation and Recycling*, 113, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.012>
- Verhoest, P., Gaume, B., Bauwens, J., te Braak, P., & Huysmans, M. (2022). Public acceptance of recycled water: A survey of social attitudes toward the consumption of crops grown with treated wastewater. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 467–475. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.003>
- Welling, C. M., Varigala, S., Krishnaswamy, S., Raj, A., Lynch, B., Piascik, J. R., Stoner, B. R., Hawkins, B. T., Hegarty-Craver, M., Luettgen, M. J., & Grego, S. (2020). Resolving the relative contributions of cistern and pour flushing to toilet water usage: Measurements from urban test sites in India. *Science of The Total Environment*, 730, 138957. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138957>
- Xuan, X., & Xu, H. (2009). Use of Reclaimed Water in China: Management issues and strategies. *Management Science and Engineering*.
- Yunita, D., Humaedi, S., & Sagita, N. I. (2019). *Pemanfaatan Kembali Air Limbah Rumah Tangga Dalam Upaya Efisiensi Penggunaan Air*.

JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL

Analisis Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Flat Slab Dilengkapi Drop Panel pada Bangunan Bertingkat

Imanuel Lurybson ZEGA, Martius GINTING, Simon Dertha TARIGAN

Aplikasi Metode Performance Based Design dalam Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Beton 6 Lantai

Arie Sempna SURBAKTI, Martius GINTING, Samsuardi BATUBARA

Perencanaan Pondasi Setapak Gabungan dan Pondasi Rakit Sederhana pada Proyek Orangutan Haven Sumatera Utara

Elbert Chardi UTOMO, Johannes TARIGAN

Pembatasan dalam Pemanfaatan Air Hasil Daur Ulang IPAL pada Universitas Vittorio Kurniawan, Widodo Kushartomo, Kevin

Analisis Karakteristik Curah Hujan Kota Medan Bagian Utara dengan Menggunakan 3 Data Stasiun Hujan

Henry Muliadi NABABAN, Binsar SILITONGA, Reynaldo SIAHAAN

Analisis Tingkat Kepuasan Penyedia Jasa Konstruksi/Konsultansi terhadap Pelaksanaan Pengadaan Secara Elektronik (e-Procurement) pada ULP Kabupaten Halma-hera Selatan

Friyani N. ARIF, Mufti Amir SULTAN, Muhammad Taufiq Yuda SAPUTRA, Amiruddin Hi MUHAMMAD



Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)

Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS) Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas berisi artikel-artikel ilmiah yang meliputi kajian di bidang teknik khususnya Teknik Sipil, seperti matematika teknik, mekanika teknik, analisis struktur, konstruksi baja, konstruksi beton, konstruksi kayu, konstruksi gelas, mekanika tanah, teknik pondasi, hidrologi, hidrolika, bangunan air, manajemen konstruksi, dinamika struktur, *earthquake engineering*, sistem dan rekayasa transportasi, ilmu ukur tanah, struktur bangunan sipil, rekayasa jalan raya, serta penelitian-penelitian lain yang terkait dengan bidang-bidang tersebut.

Terbit dalam 2 (dua) kali setahun yaitu pada bulan April dan September

Penasihat :

Rektor Universitas Katolik Santo Thomas

Ketua Penyunting (Editor in Chief) :

Ir. Oloan Sitohang, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Manajer Penyunting (Managing Editor):

Reynaldo, S.T., M.Eng. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Anggota Penyunting (Editorial Board):

Dr.-Ing. Sofyan, S.T, M.T. (Universitas Malikussaleh)

Dr. Dwi Phalita Uphata (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi)

Samsuardi Batubara, S.T., M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Dr. Janner Simarmata (Universitas Negeri Medan)

Mitra Bestari (Peer Reviewer):

Dr.Eng. Ir. Aleksander Purba, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng. (Universitas Lampung, Indonesia)

Ir. Binsar Silitonga, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Budi Hasiholan, S.T., M.T., Ph.D (Institut Teknologi Bandung, Indonesia)

Ir. Charles Sitindaon, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Dr. Erica Elice Uy (De La Salle University, Philippines)

Dr. Ernesto Silitonga, S.T, D.E.A. (Universitas Negeri Medan, Indonesia)

Prof. Dr-Ing. Johannes Tarigan (Universitas Sumatera Utara, Indonesia)

Dr. Linda Prasetyorini (Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia)

Ir. Martius Ginting, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)

Dr.Eng. Mia Wimala (Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia)

Dr.Eng. Minson Simatupang (Universitas Halu Oleo, Indonesia)

Dr. Mochamad Raditya Pradana (Keppel Marine and Deepwater Technology, Singapura)

Dr. Ir. Shirley Susanne Lumeno, S.T., M.T. (Universitas Negeri Manado, Indonesia)

Dr. Senot Sangadji (Universitas Sebelas Maret, Indonesia)

Ir. Simon Dertha, M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Dr. Thi Nguyễn Cao (Tien Giang University, Viet Nam)

Ilustrator Sampul:

Yulianto, ST., M.Eng (Universitas Katolik Santo Thomas, Indonesia)

Penerbit & Alamat Redaksi:

Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas

Jl. Setiabudi No. 479-F Tanjung Sari, Medan 20132

Telp. (061) 8210161 Fax : (061) 8213269

email : sipil@ust.ac.id

Konten

REKAYASA STRUKTUR	hal.
Analisis Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Flat Slab Dilengkapi Drop Panel pada Bangunan Bertingkat	57-67
<i>Immanuel Lurybson ZEGA, Martius GINTING, Simon Dertha TARIGAN</i>	
Aplikasi Metode Performance Based Design dalam Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Beton 6 Lantai	69-79
<i>Arie Sempana SURBAKTI, Martius GINTING, Samsuardi BATUBARA</i>	
REKAYASA GEOTEKNIK	
Perencanaan Pondasi Setapak Gabungan dan Pondasi Rakit Sederhana pada Proyek Orangutan Haven Sumatera Utara	81-95
<i>Elbert Chardi UTOMO, Johannes TARIGAN</i>	
TEKNIK SUMBER DAYA AIR	
Pembatasan dalam Pemanfaatan Air Hasil Daur Ulang IPAL pada Universitas	97-105
<i>Vittorio Kurniawan, Widodo Kushartomo, Kevin</i>	
Analisis Karakteristik Curah Hujan Kota Medan Bagian Utara dengan Menggunakan 3 Data Stasiun Hujan	107-118
<i>Henry Muliadi NABABAN, Binsar SILITONGA, Reynaldo SIAHAAN</i>	
MANAJEMEN KONSTRUKSI	
Analisis Tingkat Kepuasan Penyedia Jasa Konstruksi/Konsultansi terhadap Pelaksanaan Pengadaan Secara Elektronik (e-Procurement) pada ULP Kabupaten Halmahera Selatan	119-132
<i>Friyani N. ARIF, Mufti Amir SULTAN, Muhammad Taufiq Yuda SAPUTRA, Amiruddin Hi MUHAMMAD</i>	

Pengantar Redaksi

Puji dan syukur kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas kasih karuniaNYA kami dapat menyelesaikan penerbitan Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS) Volume 6 Nomor 2 di bulan Oktober tahun 2023 ini. Pada edisi ini, telah diterbitkan 6 artikel yang telah melewati proses *peer-review* dan penyuntingan artikel. Keenam artikel tersebut terdiri atas 2 (dua) artikel dalam topik Rekayasa Struktur, 1 (satu) artikel dalam topik Rekayasa Geoteknik, 2 (dua) artikel dalam topik Teknik Sumber Daya Air, dan 1 (satu) artikel dengan topik Manajemen Konstruksi.

Dewan redaksi menyampaikan apresiasi tinggi kepada para penulis yang karyanya diterbitkan pada volume ini, atas kerja samanya merespon komentar dan rekomendasi dari tim editorial dan mitra bestari. Ungkapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para mitra bestari atas kontribusi dukungannya dan kesediaannya menyambut permintaan kami untuk menelaah karya ilmiah yang masuk.

Sebagai penutup, kami memiliki harapan bahwa JRKMS semakin bermanfaat dalam dunia ketekniksipilan di Indonesia, serta menjadi pilihan bagi seluruh kalangan (akademisi, praktisi, mahasiswa, dsb.) untuk mempublikasikan dan memasarkan karya tulisnya untuk dinikmati secara luas.

Salam hangat dan Salam sehat.

Medan, Oktober 2023

Tim Editorial



JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL
| Volume 6 | Nomor 2 | Oktober 2023 |

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Santo Thomas
<https://doi.org/10.54367>



9 772614 570002



GARUDA
GARBA RUJUKAN DIGITAL



ISJD Neo

