

Rancang Bangun Sistem Water Reclaim Sederhana Berbasis Koagulasi, Filtrasi Multilapis, dan Disinfeksi Ultraviolet untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga (*Greywater*)

Mahfuddin Zuhri*, Nanda Fitri Hartanti, Ardian Arif Setiawan, Aep Setiawan

IPB University

DOI:

<https://doi.org/10.47134/pslse.v3i3.752>

*Correspondence: Mahfuddin Zuhri

Email: Mahfuddinzh@apps.ipb.ac.id

Received: 07-04-2026

Accepted: 19-05-2026

Published: 30-06-2026



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

berkelanjutan.

Katakunci: *Water Reclaim, Greywater, Air Limbah Rumah Tangga, Koagulasi, Filtrasi Multistage, Disinfeksi Ultraviolet, Air Daur Ulang*

Abstract: *This study aimed to design and evaluate a simple household-scale water reclaim system for treating greywater through the integration of coagulation, multistage filtration, and ultraviolet (UV) disinfection. The treatment system consisted of coagulation using alum ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), followed by multistage filtration employing gravel, quartz sand, zeolite, activated carbon, and loofah fiber, and a final UV disinfection process. The reclaimed water quality was evaluated based on organoleptic characteristics, pH, Total Suspended Solids (TSS), Total Dissolved Solids (TDS), Dissolved Oxygen (DO), surfactant concentration, and other relevant water quality parameters. The developed system successfully improved the physical and chemical characteristics of greywater through reductions in turbidity, suspended solids, and contaminants while enhancing water clarity and overall quality. The integration of coagulation, multistage filtration, and UV disinfection demonstrates a practical, low-cost, and environmentally friendly approach for household greywater reclamation. The reclaimed water has potential for non-potable applications, including vehicle washing, landscape irrigation, and outdoor cleaning, thereby supporting sustainable water resource management and reducing dependence on freshwater supplies.*

Keywords: *Water Reclaim, Greywater, Household Wastewater, Coagulation, Multistage Filtration, Ultraviolet Disinfection, Reclaimed Water*

Pendahuluan

Air merupakan sumber daya alam yang memiliki peran fundamental dalam menunjang kehidupan manusia, kegiatan pertanian, industri, dan berbagai sektor lainnya. Namun, berbagai negara di dunia saat ini menghadapi tantangan serius dalam penyediaan air bersih akibat meningkatnya kebutuhan air, pertumbuhan populasi, urbanisasi, perkembangan sektor agrikultur dan industri, serta dampak perubahan iklim yang menyebabkan kekeringan, penurunan kuantitas, dan pencemaran sumber daya air ([Miller, 2006](#); [Fulazzaky, 2014](#)). Di sisi lain, air daur ulang (*reclaimed water*) masih berpotensi mengandung berbagai polutan, seperti garam terlarut, nitrogen, fosfor, logam berat, dan senyawa pencemar lainnya yang dapat menimbulkan risiko ekologis apabila tidak diolah secara optimal. Meskipun demikian, dalam tiga dekade terakhir pemanfaatan air daur ulang terus meningkat dan menjadi salah satu strategi penting dalam mendukung konservasi sumber daya air serta pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan ([Yi et al., 2011](#)). Indonesia sebagai negara yang memiliki sumber daya air melimpah juga mulai menghadapi kondisi defisit air di beberapa wilayah akibat variasi iklim, kondisi geografis, pertumbuhan penduduk, serta meningkatnya aktivitas domestik dan industri. Fulazzaky (2014) melaporkan bahwa kebutuhan air untuk mendukung aktivitas rumah tangga, pertanian, dan industri mencapai sekitar $1074 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, sedangkan ketersediaan air permukaan pada kondisi aliran rendah hanya sekitar $790 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Di Pulau Jawa, kebutuhan air untuk sektor domestik diperkirakan mencapai sekitar $260 \text{ m}^3/\text{s}$ ([Mediawan, 2021](#)). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan sumber air konvensional saja tidak lagi memadai sehingga diperlukan alternatif penyediaan air melalui pemanfaatan sumber air nonkonvensional, salah satunya adalah pengolahan kembali air limbah rumah tangga (*greywater*). *Greywater* memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan kembali karena berasal dari aktivitas mandi, mencuci pakaian, dan kegiatan domestik lainnya dengan tingkat pencemaran yang relatif lebih rendah dibandingkan *blackwater*. Oleh karena itu, pengembangan teknologi *water reclaim* yang sederhana, efisien, dan ekonomis menjadi salah satu solusi yang menjanjikan untuk mendukung konservasi air, mengurangi eksploitasi air tanah, serta mewujudkan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan ([Wu et al., 2017](#); [Fielding et al., 2018](#); [Tortajada & Ong, 2016](#); [Summers, 2020](#)).

Organisasi Kesehatan Dunia (World Health Organization/WHO) merekomendasikan kebutuhan air bersih sebesar 50–100 liter per kapita per hari untuk memenuhi kebutuhan dasar rumah tangga, seperti kebersihan pribadi, mencuci, dan kegiatan sanitasi ([World Health Organization, 2003](#)). Namun, pemenuhan kebutuhan tersebut masih menjadi tantangan di berbagai negara, terutama di wilayah yang mengalami keterbatasan sumber daya air. Pengukuran konsumsi air rumah tangga juga dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jumlah sumber air yang digunakan, kapasitas penyimpanan, variasi musim, pola konsumsi harian, serta kondisi sosial dan budaya masyarakat ([Tamason et al., 2011](#)). Di Indonesia, keterbatasan akses terhadap sumber air bersih tidak hanya meningkatkan waktu dan energi yang dibutuhkan masyarakat untuk memperoleh air, tetapi juga berdampak pada penurunan produktivitas karena sebagian besar aktivitas masyarakat difokuskan

pada pemenuhan kebutuhan air. Selain itu, masyarakat di daerah yang mengalami kelangkaan air cenderung memanfaatkan sumber air secara langsung untuk kegiatan mandi dan mencuci sebagai bentuk adaptasi terhadap keterbatasan pasokan air bersih ([Messakh & Punuf, 2020](#)). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa diperlukan alternatif penyediaan air yang berkelanjutan melalui pemanfaatan kembali air limbah domestik (*water reuse*).

Salah satu pendekatan yang semakin berkembang untuk mengatasi keterbatasan sumber daya air adalah teknologi *water reclamation*, yaitu proses pengolahan air limbah hingga memenuhi standar kualitas tertentu sehingga dapat dimanfaatkan kembali untuk berbagai kebutuhan nonpotabel. Teknologi ini menjadi bagian penting dalam konservasi sumber daya air karena mampu mengurangi eksploitasi air baku, menekan pencemaran lingkungan, serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan air ([Okun, 2000](#); [Gan & Zeng, 2018](#)). Di antara berbagai jenis air limbah domestik, *greywater* memiliki potensi terbesar untuk didaur ulang karena berasal dari aktivitas mandi, mencuci pakaian, dan kegiatan rumah tangga lainnya dengan tingkat kontaminasi yang relatif lebih rendah dibandingkan *blackwater*. Sekitar 60–70% konsumsi air rumah tangga berubah menjadi *greywater* sehingga berpotensi dimanfaatkan kembali untuk penyiraman taman, pencucian kendaraan, pembersihan area publik, dan berbagai kebutuhan nonpotabel lainnya ([Allen et al., 2010](#); [Dakua et al., 2016](#); [Vigneswaran, 2004](#)). Meskipun berbagai teknologi pengolahan *greywater*, seperti oksidasi, koagulasi, filtrasi, adsorpsi, dan disinfeksi telah banyak dikembangkan, sebagian besar masih memerlukan biaya investasi yang tinggi, sistem operasi yang kompleks, atau hanya mengandalkan satu metode pengolahan sehingga efektivitas penyisihan kontaminannya belum optimal untuk diterapkan pada skala rumah tangga ([Friendler & Alfiya, 2016](#); [Metcalf & Eddy, 2007](#); [Wijaya & Soedjono, 2018](#)). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem *water reclaim* yang sederhana, ekonomis, mudah dioperasikan, dan mampu menghasilkan *reclaimed water* yang memenuhi persyaratan kualitas untuk penggunaan kembali.

Koagulasi merupakan salah satu proses *pretreatment* yang efektif dalam pengolahan air limbah untuk menghilangkan partikel koloid, padatan tersuspensi, bahan organik, serta residu deterjen melalui pembentukan flok yang mudah dipisahkan pada tahap pengolahan berikutnya ([Jiang, 2015](#); [Al-Gheethi et al., 2017](#)). Efektivitas proses ini dipengaruhi oleh karakteristik air limbah, nilai pH, dosis, dan jenis koagulan yang digunakan ([Saritha et al., 2017](#)). Di antara berbagai koagulan kimia, tawas ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) banyak dipilih karena memiliki kemampuan yang tinggi dalam menurunkan kekeruhan, dengan efisiensi mencapai 98,8%, serta biaya yang relatif rendah dibandingkan koagulan berbasis besi ([Prakash et al., 2014](#)). Pada pengolahan limbah domestik, dosis tawas umumnya berkisar antara 150–600 mg/L ([Guida et al., 2007](#)). Setelah proses koagulasi, air limbah dialirkan ke unit filtrasi untuk menghilangkan partikel halus, bahan organik, dan mikroorganisme yang masih tersisa melalui mekanisme penyaringan mekanik, adsorpsi, sedimentasi, dan aktivitas biologis ([Basha, 2019](#)). Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Slow Sand Filtration* (SSF), karena memiliki biaya operasional rendah, konsumsi energi yang kecil, serta

efektif dalam menurunkan padatan tersuspensi, bahan organik, dan mikroorganisme patogen, termasuk *Giardia* dan *Cryptosporidium* (Verma et al., 2017; Adin, 2003; William et al., 1985). Oleh karena itu, kombinasi proses koagulasi menggunakan tawas dan filtrasi multistage menjadi pendekatan yang menjanjikan untuk meningkatkan kualitas *greywater* secara efektif sebelum tahap disinfeksi dan pemanfaatan kembali sebagai *reclaimed water*.

Setelah proses koagulasi, *greywater* dialirkan ke unit filtrasi untuk menghilangkan partikel tersuspensi, bahan organik, dan mikroorganisme melalui mekanisme penyaringan mekanik, adsorpsi, sedimentasi, dan aktivitas biologis. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Slow Sand Filtration* (SSF), yang memanfaatkan susunan media berlapis untuk meningkatkan efisiensi penyisihan kontaminan dengan biaya operasional dan konsumsi energi yang relatif rendah (Bourne et al., 2006; Basha, 2019; Verma et al., 2017). Tahap selanjutnya adalah disinfeksi menggunakan sinar ultraviolet (UV), yang efektif menginaktivasi mikroorganisme patogen tanpa menghasilkan residu kimia sehingga banyak diterapkan pada pengolahan air limbah untuk kebutuhan nonpotabel (Richardson & Postigo, 2011; Das, 2001). Kualitas *reclaimed water* kemudian dievaluasi berdasarkan parameter fisika, kimia, dan organoleptik sesuai standar baku mutu yang berlaku, seperti Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 dan pedoman *Environmental Protection Agency* (EPA) (Summers, 2020; Gan & Zeng, 2018). Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan teknologi pengolahan *greywater*, sebagian besar masih menggunakan sistem yang relatif kompleks, berbiaya tinggi, atau hanya menggabungkan sebagian tahapan pengolahan. Oleh karena itu, kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada pengembangan sistem *water reclaim* skala rumah tangga yang mengintegrasikan proses koagulasi menggunakan tawas, filtrasi multistage berbasis pasir kuarsa, batu *gravel*, zeolit, karbon aktif, dan serat *loofah*, serta disinfeksi ultraviolet dalam satu sistem yang sederhana, ekonomis, mudah dioperasikan, dan dievaluasi berdasarkan parameter organoleptik, fisika, dan kimia sesuai baku mutu air limbah domestik sebagai alternatif teknologi pemanfaatan kembali *greywater* secara berkelanjutan.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan merancang dan mengevaluasi kinerja sistem *water reclaim* sederhana untuk mengolah air limbah rumah tangga (*greywater*) menjadi air daur ulang (*reclaimed water*) yang dapat dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan nonpotabel. Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2022 di Laboratorium Fisika Material Elektronik, Laboratorium Analisis Bahan, dan Laboratorium Biofisika, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Sistem *water reclaim* yang dikembangkan terdiri atas tiga unit utama, yaitu tangki koagulasi, kolom filtrasi multistage, dan tangki disinfeksi ultraviolet. Sampel *greywater* diperoleh dari campuran air bekas mesin cuci dan air bekas pencucian kendaraan. Proses koagulasi dilakukan menggunakan tawas ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) sebagai koagulan, sedangkan proses filtrasi memanfaatkan kombinasi media batu *gravel*, pasir kuarsa, zeolit, karbon aktif, dan serat *loofah*. Tahap akhir pengolahan dilakukan

menggunakan lampu ultraviolet (UV) berdaya 5 W untuk mengurangi kandungan mikroorganisme patogen sebelum air dimanfaatkan kembali.

Evaluasi kinerja sistem dilakukan melalui pengujian kualitas air pada setiap tahapan pengolahan, yaitu setelah proses koagulasi, filtrasi, dan disinfeksi. Parameter yang dianalisis meliputi derajat keasaman (pH), suhu, *Total Suspended Solids* (TSS), *Total Dissolved Solids* (TDS), *Dissolved Oxygen* (DO), kadar surfaktan anionik, serta pengamatan organoleptik yang mencakup warna, kekeruhan, dan bau. Seluruh pengujian dilakukan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) yang sesuai untuk masing-masing parameter. Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan karakteristik *greywater* sebelum dan sesudah proses pengolahan, kemudian dievaluasi berdasarkan baku mutu air untuk pemanfaatan kembali (*water reuse*) pada aplikasi nonpotabel. Hasil analisis selanjutnya dibandingkan dengan penelitian terdahulu untuk menilai efektivitas sistem *water reclaim* yang dikembangkan.

Hasil dan Pembahasan

Sistem dimulai dari rangkaian tangki pertama yang akan digunakan untuk penampungan air limbah rumah tangga sekaligus proses koagulasi. Pipa air dipasang sekitar 10 cm di atas alas tangki untuk menyediakan ruang bagi flok yang terbentuk selama proses koagulasi hingga jumlah flok yang akan ikut mengalir ke pipa filtrasi dapat diminimalisir. Di dalam tangki ini digunakan mesin cuci mini portable dengan putaran 200 rpm selama 10 menit untuk membantu proses pengadukan dengan waktu optimal hingga mempercepat terbentuknya flok karena reaksi koagulan dengan air limbah ([Arum dan Indaryanto 2004](#)). Setelah pengadukan, air di dalam tangki koagulasi harus didiamkan selama 3 jam agar flok yang terbentuk berkumpul di dasar tangki.

Unit kedua dari sistem *water reclaim* untuk air rumah tangga adalah pipa filtrasi. Pipa filtrasi didesain menjadi tiga segmen untuk kemudahan saat pembersihan media filter. Penggunaan pipa filtrasi secara terus menerus akan menyebabkan flok atau partikel yang disaring menghilangkan daya tekanan total atau *head-loss* dalam sistem filtrasi ([Darby et al. 1992](#)). Keadaan ini akan menurunkan laju filtrasi dan berpengaruh pada kualitas filter oleh sebab itu dibutuhkan peremajaan pada filter dengan cara pencucian media filter. Penggunaan metode *slow sand filter* karena biaya operasional yang lebih terjangkau dengan kemampuan penetrasi unsur yang tersuspensi sangat baik. *Slow sand filter* memiliki konstruksi ukuran media yang dipakai berkisar antara 0,25-0,3 mm. Dalam penelitian ini penulis menggunakan tipe penyaringan multi media filter yaitu gabungan antara beberapa media filter untuk berperan maksimal sesuai dengan fungsinya. Media pertama yang dipilih adalah gravel yang memiliki karakteristik tahan erosi sehingga mampu menahan flok atau partikel yang masuk ke dalam pipa filtrasi. Pasir kuarsa dipilih menjadi media berikutnya karena efektif dalam menghilangkan padatan tersuspensi. Media selanjutnya adalah arang aktif yang memiliki karakteristik penyerap bau, klorin, maupun berfungsi dalam pengendalian kadar oksigen sehingga pergerakan bakteri atau mikroorganisme akan terhambat. Zeolit dipilih karakteristik zeolite yang mempunyai struktur berongga sehingga mampu menyerap, menukar ion, maupun menjadi penyaring molekuler dengan baik. Serat

loofah menjadi media terakhir yang digunakan dalam pipa filtrasi karena kemampuannya untuk menjadi filter biologi dan menstabilkan pH (Dang *et al.* 2020).

Unit disinfeksi menjadi unit terakhir dalam sistem water reclaim ini. Penggunaan sinar ultraviolet dimaksudkan untuk menghilangkan mikroorganisme patogen selama penyimpanan air dan meminimalisir paparan dengan manusia saat penggunaan *reclaimed water*. Dalam proses disinfeksi digunakan lampu ultraviolet dengan daya 5 watt selama 2 jam. Tangki disinfeksi harus menggunakan wadah tertutup dan tidak transparan untuk menghindari paparan langsung sinar UV pada hewan atau manusia. Produk dari unit ini merupakan dikategorikan sebagai produk sistem *water reclaim* yang disebut air daur ulang atau *reclaimed water*.

Pengujian yang pertama dilakukan adalah pengujian organoleptik atau sensorik dari sampel air di setiap proses. Parameter yang diuji adalah warna dan bau. Berdasarkan gambar pada air limbah rumah tangga yang digunakan, warna sampel adalah abu-abu dan keruh. Bau yang dapat dihirup adalah bau detergen dari sisa pencucian. Proses koagulasi merubah warna air menjadi tidak berwarna dan jernih walaupun jelas terlihat flok yang terbentuk dan berada di dasar botol sampel. Bau air hasil proses koagulasi lebih samar namun tetap dapat terhirup dari sampel produk tangki koagulasi. Pemeriksaan berikutnya dilakukan pada produk tangki filtrasi dimana air tidak mengalami perubahan warna dan flok yang terbentuk di tangki koagulasi sudah tidak terlihat pada produk pipa filtrasi. Bau pada air di akhir proses filtrasi adalah tidak berbau. Air dari proses disinfeksi tidak mengalami perubahan warna dan bau.

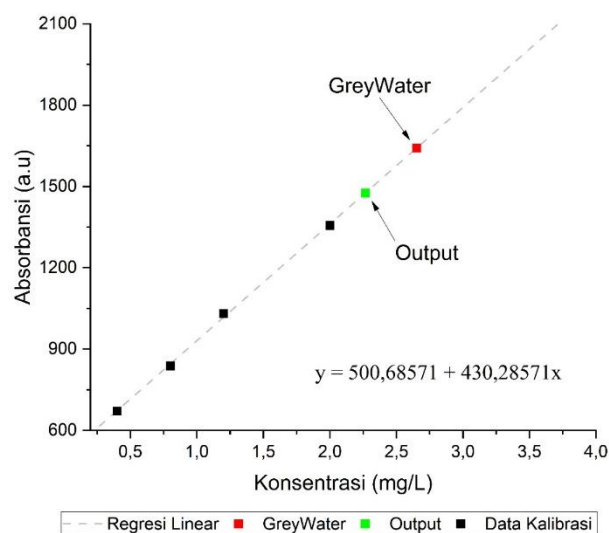
TDS (*Total Dissolved Solid*) dan TSS (*Total Suspended Solid*) diamati dengan menggunakan metode gravimetri. Berdasarkan tabel 9 dapat ditunjukkan pada proses koagulasi dapat mengurangi kadar TDS sebesar 9,07% pada air limbah rumah tangga (*greywater*) yang digunakan. Proses koagulasi juga berhasil menurunkan kadar TSS sebesar 12,65. Reaksi antara koagulan alum menghasilkan ikatan koordinasi dengan ligan organik atau non-organik di dalam air limbah rumah tangga sehingga dapat membantu dalam proses penjernihan air (Jalal *et al.* 2021). Produk pipa filtrasi terhitung dapat mengurangi kadar TDS mencapai 49% dan TSS sebesar 12% dari proses sebelumnya. Hal ini menunjukkan efektivitas multi media filter dalam menyaring padatan terlarut atau tersuspensi di dalam air limbah rumah tangga. Sedangkan proses disinfeksi dapat mengurangi 8,85% dari TDS namun terjadi kenaikan angka TSS sebesar 5,92%. Hal ini dapat terjadi karena proses disinfeksi yang membutuhkan waktu lama dengan kondisi penutup tangki yang tidak tertutup rapat hingga dapat meningkatkan kemungkinan kontaminasi partikel dari luar. Total TSS dan TDS yang dapat direduksi oleh sistem berturut-turut adalah 50% dan 58%.

Parameter yang di uji berikutnya adalah suhu dan pH menggunakan pH meter dan kertas indikator pH. Pada air limbah rumah tangga yang digunakan derajat keasaman yang terukur adalah 9,2. Hal tersebut dapat terjadi karena air limbah rumah tangga berasal dari air bekas cuci yang mengandung detergen memiliki pH basa (Rhodes dan Bascom 1931). Pada produk tangki koagulasi air mengalami perubahan pH menjadi 5,6. Hal ini dapat terjadi karena reaksi koagulan alum dengan air dapat menghasilkan ion SO_4^{2-} yang akan

merubah air menjadi suasana asam ([Aziz et al. 2013](#)). Proses koagulasi yang menggunakan serat loofah mampu mengembalikan pH air menjadi 6,7 dan dapat dikatakan pH produk pipa filtrasi adalah netral. Proses disinfeksi tidak merubah pH dan tetap pada angka 6,7. Pengukuran suhu yang dilakukan pada seluruh sampel baik air limbah rumah tangga, produk tangki koagulasi, produk pipa filtrasi maupun produk tangki disinfeksi berada di nilai yang sama yaitu 25°C.

Kadar oksigen terlarut diuji di setiap sampel. Dari hasil pengujian yang tertulis pada tabel 8 dapat kita peroleh informasi kadar oksigen terlarut pada air limbah rumah tangga adalah 1,5 mg/l. Kadar oksigen terlarut dapat digunakan sebagai indikator kualitas air dan faktor penting bagi kehidupan akuatik. Semakin tinggi kadar oksigen terlarut, kualitas air semakin baik ([Kannel et al. 2006](#)). Pada proses koagulasi didapati kenaikan kadar oksigen terlarut sebesar 13% di angka 1,7 mg/l. Kenaikan ini dapat terjadi karena proses agitasi yaitu proses pengadukan sehingga dapat memperluas dan memperlama kontak dengan udara dan oksigen akan terdifusi di dalam air ([Shioya et al. 1999](#)). Pada proses koagulasi dan disinfeksi kadar oksigen terlarut kembali ke keadaan semula menjadi 1,5. Hal ini dikarenakan tidak ada difusi oksigen yang dapat terjadi dalam proses filtrasi dan disinfeksi.

Pengujian surfaktan anionik atau deterjen dilakukan pada sampel air limbah rumah tangga dan air produk sistem yang berada pada tangki disinfeksi untuk melihat efektivitas sistem dalam mengurangi kadar deterjen pada air limbah rumah tangga. Pencemaran tanah dan air terjadi karena pestisida atau penggunaan *reclaimed water* yang masih mengandung kadar surfaktan tinggi ([Mousavi dan Khodadoost 2019](#)). Pengujian surfaktan anionik dilakukan secara biru metilen dan diperiksa menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 652 nm. Pengujian juga menggunakan larutan surfaktan 0,4 mg/l, 0,8 mg/l, 1,2 mg/l dan 2 mg/l sebagai kurva kalibrasi. Setelah didapat nilai absorbansi dibuat regresi linear dan menentukan konsentrasi surfaktan pada sampel air limbah rumah tangga dan produk sistem dari tangki disinfeksi. Didapatkan kurva sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik konsentrasi surfaktan anionik pada sampel

Berdasarkan Gambar 1 diperoleh kadar surfaktan anionik pada sampel air limbah rumah tangga adalah 2,6 mg/l sedangkan pada produkakhir sistem atau *reclaimed water* kadar surfaktan anionik adalah 2,3 mg/l. Telah terjadi penurunan kadar surfaktan anionik sebesar 12% dalam sistem reclaim water di penelitian ini. Kadar surfaktan di bawah 4 mg/l di sebuah studi tidak memberikan perubahan yang bisa diamati pada ekosistem air ([Connel dan Miller 1995](#)) sehingga kadar surfaktan yang terdapat pada produksistem *water reclaim* masih dapat dikategorikan aman.

Penurunan berbagai parameter kualitas air pada sistem water reclaim ini merupakan hasil sinergi mekanisme fisik, kimia, dan biologis yang terjadi pada setiap tahapan pengolahan. Pada proses koagulasi, ion Al^{3+} yang berasal dari hidrolisis tawas membentuk spesies hidroksida aluminium ($Al(OH)_3$) yang bermuatan positif sehingga mampu menetralkan muatan partikel koloid, surfaktan, dan bahan organik terlarut. Destabilisasi tersebut mendorong terjadinya agregasi partikel menjadi flok berukuran lebih besar yang mudah mengendap, sehingga nilai TSS, sebagian TDS, kekeruhan, warna, dan konsentrasi surfaktan mulai menurun. Selanjutnya, filtrasi multilapis meningkatkan efisiensi penyisihan kontaminan melalui kombinasi mekanisme penyaringan mekanik oleh gravel dan pasir kuarsa, adsorpsi senyawa organik dan penyebab bau oleh karbon aktif, pertukaran ion dan adsorpsi molekul terlarut oleh zeolit, serta penyaringan biologis oleh serat loofah yang mendukung terbentuknya biofilm sehingga partikel halus dan sisa bahan organik dapat dihilangkan lebih efektif. Pada tahap akhir, disinfeksi ultraviolet tidak berperan utama dalam menghilangkan padatan terlarut maupun tersuspensi, tetapi bekerja dengan merusak DNA dan RNA mikroorganisme melalui pembentukan dimer pirimidin sehingga kemampuan replikasi sel menjadi hilang dan mikroorganisme mengalami inaktivasi. Kombinasi ketiga proses tersebut menghasilkan *reclaimed water* dengan kualitas fisika, kimia, dan mikrobiologi yang lebih baik dibandingkan greywater awal, sehingga layak dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan nonpotabel.

Hasil pengujian parameter air pada sampel dapat dibandingkan dengan standar baku terkait kelas air berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk menentukan apakah *reclaimed water* hasil dari sistem dapat memenuhi standar pengaplikasian. Pada tabel tiga terdapat dua kelas air yang dicantumkan yaitu kelas 2 dengan penggunaannya sebagai prasarana atau sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar dan peternakan dan kelas 4 yaitu air yang dapat digunakan untuk mengairi pertanaman. Perbandingan itu dapat kita tuliskan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Perbandingan kualitas *water reclaimed* dengan standar baku air kelas 2

Parameter	Kualitas Air Kelas 2	Kualitas <i>Water Reclaimed</i>	Target
pH	4-9	6,7	Tepenuhi
DO (Dissolved Oxygen) mg/l	4	1,5	Tidak Terpenuhi
TSS (Total Suspended Solid) mg/l	1000	186	Terpenuhi
TSS (Total Suspended Solid) mg /l	50	161	Tidak Terpenuhi

Surfaktan Anionik mg/l	0,2	2,3	Tidak Terpenuhi
------------------------	-----	-----	-----------------

Kualitas *reclaimed water* untuk memenuhi standar baku kelas 2 dengan penggunaannya sebagai prasarana atau sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar dan peternakan hanya pada parameter pH dan TDS (*Total Dissolved Solid*). Sedangkan untuk parameter lain seperti oksigen terlarut, TSS (*Total Suspended Solid*) dan kadar surfaktan masih belum dapat memenuhi standar. Air hasil sistem *water reclaim* dapat memenuhi standar air kelas 4 dengan penggunaan pengairan pertanian dan peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut misalnya mencuci kendaraan dan kebutuhan *non-potable*. Perbandingannya dapat diamati pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Perbandingan kualitas *water reclaimed* dengan standar baku air kelas 4

Parameter	Kualitas Air Kelas 4	Kualitas <i>Water Reclaimed</i>	Target
pH	4-9	6,7	Terpenuhi
DO (Dissolved Oxygen) mg/l	1	1,5	Terpenuhi
TSS (Total Suspended Solid) mg/l	10000	186	Terpenuhi
TSS (Total Suspended Solid) mg /l	400	161	Terpenuhi
Surfaktan Anionik mg/l	-	2,3	Terpenuhi

Meskipun sistem *water reclaim* yang dikembangkan telah memenuhi baku mutu air kelas 4 untuk berbagai kebutuhan nonpotabel, beberapa parameter masih belum memenuhi persyaratan air kelas 2, terutama kadar TSS, surfaktan anionik, dan dissolved oxygen (DO). Tingginya nilai TSS menunjukkan bahwa sebagian partikel halus dan flok berukuran kecil masih lolos dari media filtrasi, sedangkan kadar surfaktan yang masih relatif tinggi mengindikasikan bahwa senyawa deterjen anionik belum seluruhnya teradsorpsi maupun terdegradasi selama proses pengolahan. Nilai DO yang masih rendah juga menunjukkan bahwa kandungan bahan organik terlarut masih memerlukan proses oksidasi yang lebih lanjut sehingga konsumsi oksigen oleh mikroorganisme dan senyawa organik masih cukup tinggi. Untuk meningkatkan kualitas *reclaimed water* hingga memenuhi baku mutu kelas 2, beberapa strategi optimasi dapat dilakukan, antara lain optimasi dosis dan pH koagulasi melalui uji jar test, peningkatan ketebalan atau waktu tinggal media filtrasi, penambahan media adsorben berkapasitas tinggi seperti karbon aktif granular atau biochar, penerapan proses aerasi setelah filtrasi untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut, serta penggunaan unit pengolahan lanjutan seperti membran mikrofiltrasi atau ultrafiltrasi apabila air hasil olahan ditujukan untuk aplikasi dengan persyaratan kualitas yang lebih tinggi. Pendekatan tersebut diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan padatan tersuspensi, surfaktan, maupun bahan organik sehingga kualitas *reclaimed water* menjadi lebih baik dan memenuhi standar penggunaan yang lebih luas.

Kesimpulan

Rancang bangun simple *water reclaim system* untuk air limbah rumah tangga (*greywater*) menggunakan tiga proses utama yaitu koagulasi menggunakan koagulan alum, filtrasi menggunakan multi media filter yang terbagi menjadi tiga segmen pipa dan

disinfeksi yang melibatkan sinar ultraviolet. Pengujian parameter air dilakukan pada *reclaimed water* atau produk sistem *water reclaim* dan didapatkan hasil nilai pH 6,7, DO (*Dissolved Oxygen*) sebesar 1,5 mg/l, TDS (*Total Dissolved Solid*) sebesar 186 mg/l, TSS (*Total Suspended Solid*) sebesar 161 mg/l dan kadar surfaktan anionik sebesar 2,3 mg/L. Sistem *reclaimed water* telah berhasil menstabilkan pH air, mengurangi TDS sebesar 58% dan TSS sebesar 50%. Sistem ini juga mampu menurunkan kadar surfaktan anionik pada limbah rumah tangga *greywater* sebesar 12%. Kualitas *reclaimed water* sudah dapat memenuhi standar baku mutu air kelas 4 dengan penggunaan mengairi pertanaman dan peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut misalnya mencuci kendaraan dan kebutuhan air di area lanskap perkotaan *non-potable*.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengoptimalkan kinerja sistem *water reclaim* melalui variasi dosis koagulan, kondisi pH, waktu pengadukan, serta waktu pengendapan guna memperoleh efisiensi penyisihan kontaminan yang lebih tinggi. Selain itu, perlu dilakukan evaluasi terhadap variasi jenis, ukuran, dan ketebalan media filtrasi, termasuk pemanfaatan adsorben alternatif seperti biochar, karbon aktif granular, maupun zeolit termodifikasi untuk meningkatkan kemampuan penyisihan surfaktan, bahan organik, dan padatan halus. Pengembangan sistem juga dapat diarahkan pada penambahan proses aerasi atau teknologi pengolahan lanjutan, seperti membran mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, atau advanced oxidation process (AOP), sehingga kualitas *reclaimed water* dapat memenuhi baku mutu yang lebih tinggi. Di samping itu, penelitian jangka panjang mengenai stabilitas media filter, umur pakai sistem, konsumsi energi, analisis biaya operasional, serta pengujian parameter mikrobiologi (misalnya total coliform dan *Escherichia coli*) juga perlu dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan penerapan sistem *water reclaim* pada skala rumah tangga maupun komunitas secara berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Adin, A. (2003). Slow granular filtration for water reuse. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(4), 123–130. <https://doi.org/10.2166/ws.2003.0067>
- Al-Gheethi, A., Mohamed, R., Wurochekke, A., Nurulainee, N., Mas, R., & Amir, H. M. (2017). Efficiency of Moringa oleifera seeds for treatment of laundry wastewater. *MATEC Web of Conferences*, 103, Article 06001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710306001>
- Allen, L., Christian-Smith, J., & Palaniappan, M. (2010). Overview of greywater reuse: The potential of greywater systems to aid sustainable water management. Pacific Institute.
- Amran, A. H., Zaidi, N. S., Muda, K., & Wai Loan, L. (2018). Effectiveness of natural coagulant in coagulation process: A review. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.9), 34–37. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.9.15269>
- Aziz, T., Pratiwi, D. Y., & Rethiana, L. (2013). Pengaruh penambahan tawas $Al_2(SO_4)_3$ dan kaporit $Ca(OCl)_2$ terhadap karakteristik fisik dan kimia air Sungai Lambidaro. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(3), 55–65.

- Basha, M. (2019). Filtration. In *Analytical techniques in biochemistry*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8793-2>
- Bourne, D. G., Blakeley, R. L., Riddles, P., & Jones, G. J. (2006). Biodegradation of the cyanobacterial toxin microcystin-LR in natural water and biologically active slow sand filters. *Water Research*, 40(6), 1294–1302. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.022>
- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., YeongWu, T., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences*, 26(11), 2178–2189. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60645-1](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60645-1)
- Connell, D. W., & Miller, G. J. (1995). *Kimia dan ekotoksikologi pencemaran*. UI Press.
- Dakua, M., Mahmood, M., Bhowmik, S., & Khaled. (2016). Potential of grey water recycling in water-scarce urban areas in Bangladesh. *International Journal of Environmental Science and Development*, 7(8), 563–567. <https://doi.org/10.18178/IJESD.2016.7.8.840>
- Dang, H. T., Dinh, C. V., Nguyen, K. M., Tran, N. T., Pham, T. T., & Narbaitz, R. M. (2020). Loofah sponges as bio-carriers in a pilot-scale integrated fixed-film activated sludge system for municipal wastewater treatment. *Sustainability*, 12(11), Article 4758. <https://doi.org/10.3390/su12114758>
- Darby, J. L., Attanasio, R. E., & Lawler, D. F. (1992). Filtration of heterodisperse suspensions: Modeling of particle removal and head loss. *Water Research*, 26(6), 711–726. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(92\)90091-M](https://doi.org/10.1016/0043-1354(92)90091-M)
- Das, T. K. (2001). Ultraviolet disinfection application to a wastewater treatment plant. *Clean Products and Processes*, 3(2), 69–80. <https://doi.org/10.1007/s100980100108>
- Edzwald, J. K. (1993). Coagulation in drinking water treatment: Particles, organics and coagulants. *Water Science and Technology*, 27(11), 21–35. <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0579>
- Fielding, K. S., Dolnicar, S., & Schultz, T. (2019). Public acceptance of recycled water. *International Journal of Water Resources Development*, 35(4), 551–586. <https://doi.org/10.1080/07900627.2018.1531644>
- Friedler, E., & Alfiya, Y. (2010). Physicochemical treatment of office and public buildings greywater. *Water Science and Technology*, 62(10), 2357–2363. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.486>
- Fulazzaky, M. A. (2014). Challenges of integrated water resources management in Indonesia. *Water*, 6(7), 2000–2020. <https://doi.org/10.3390/w6072000>
- Gan, W., & Zeng, T. (2018). A review of water reclamation research in China's urban landscape design and planning practice. *Journal of Physics: Conference Series*, 989, Article 012006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/989/1/012006>
- Garde, W. K., Buchberger, S. G., Wendell, D., & Kupferle, M. J. (2017). Application of *Moringa oleifera* seed extract to treat coffee fermentation wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 329, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.01.046>
- Gilbert, R. G., Nakayama, F. S., Bucks, D. A., French, O. F., Adamson, K. C., & Johnson, R. M. (1982). Trickle irrigation: Predominant bacteria in treated Colorado River water and

- biologically clogged emitters. *Irrigation Science*, 3(2), 123–132. <https://doi.org/10.1007/BF00256092>
- Guida, M., Mattei, M., Della Rocca, C., Melluso, G., & Meriç, S. (2007). Optimization of alum coagulation/flocculation for COD and TSS removal from five municipal wastewaters. *Desalination*, 211(1–3), 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.02.085>
- Ives, K. J. (1963). Simplified rational analysis of filter behavior. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 25(3), 345–363.
- Jalal, G., Abbas, N., Deeba, F., Butt, T., Jilal, S., & Sarfraz, S. (2021). Efficient removal of dyes in textile effluents using aluminum-based coagulant. *Chemistry International*, 7(3), 197–207. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4706365>
- Jiang, J.-Q. (2015). The role of coagulation in water treatment. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 8, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2015.01.008>
- Kim, S. H., Moon, S. Y., Yoon, C. H., Yim, S. K., & Cho, J. W. (2005). Role of coagulation in membrane filtration of wastewater for reuse. *Desalination*, 173(3), 301–307. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.08.042>
- March, J. G., Gual, M., & Ramonell, J. (2005). A kinetic model for chlorine consumption in grey water. *Desalination*, 181(1–3), 267–273. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.02.024>
- Mark, R. W., Veerapaneni, S., & Brejchová, D. (1992). Improvements in membrane microfiltration using coagulation pretreatment. In *Chemical Water and Wastewater Treatment II* (pp. 281–296). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76093-8_22
- McGuigan, K. G., Joyce, T. M., Conroy, R. M., Gillespie, J. B., & Meegan, M. E. (1998). Solar disinfection of drinking water contained in transparent plastic bottles: Characterizing the bacterial inactivation process. *Journal of Applied Microbiology*, 84(6), 1138–1148. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1998.00455.x>
- Mediawan, Y., Montarcih, L., Soetopo, W., & Prayogo, T. B. (2021). Water balance supporting the irrigation water demand in Java Island, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 53(1), 9–19. <https://doi.org/10.22146/ijg.61009>
- Messakh, J. J., & Punuf, D. A. (2020). Study on the accessibility of water sources to meet the water needs of rural communities in semi-arid regions of Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426, Article 012190. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012190>
- Metcalf & Eddy, Inc. (2007). *Water reuse: Issues, technologies, and applications*. McGraw-Hill.
- Miller, G. W. (2006). Integrated concepts in water reuse: Managing global water needs. *Desalination*, 187(1–3), 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.065>
- Mousavi, S. A., & Khodadoost, F. (2019). Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(26), 26439–26448. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05802-x>
- Okun, D. A. (2000). Water reclamation and unrestricted nonpotable reuse: A new tool in urban water management. *Annual Review of Public Health*, 21, 223–245. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.21.1.223>

- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2001). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
- Prakash, N. B., Sockan, V., & Jayakaran, P. (2014). Waste water treatment by coagulation and flocculation. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 3(2), 479–484.
- Rhodes, F. H., & Bascom, C. H. (1931). Effect of pH upon the detergent action of soap. *Industrial & Engineering Chemistry*, 23(7), 778–780. <https://doi.org/10.1021/ie50259a017>
- Richardson, S. D., & Postigo, C. (2011). Drinking water disinfection by-products. In D. Barceló (Ed.), *Emerging organic contaminants and human health* (pp. 93–137). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23734-8_4
- Saritha, V., Srinivas, N., & Srikanth, N. V. (2017). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Applied Water Science*, 7, 451–460. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0269-y>
- Shioya, S., Morikawa, M., Kajihara, Y., & Shimizu, H. (1999). Optimization of agitation and aeration conditions for maximum virginiamycin production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51(2), 164–169. <https://doi.org/10.1007/s002530051380>
- Summers, K. (2020). *Water quality science, assessment and policy*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78654>
- Tamason, C. C., Bessias, S., Villada, A., Tulsiani, S. M., Ensink, J. H. J., Gurley, E. S., & Mackie, P. K. (2016). Measuring domestic water use: A systematic review of methodologies that measure unmetered water use in low-income settings. *Tropical Medicine & International Health*, 21(11), 1389–1402. <https://doi.org/10.1111/tmi.12780>
- Tiaiba, M., Merzouk, B., Mazour, M., Leclerc, J.-P., & Lapique, F. (2018). Study of chemical coagulation conditions for a disperse red dye removal from aqueous solutions. *Membrane and Water Treatment*, 9(1), 9–15. <https://doi.org/10.12989/mwt.2018.9.1.009>
- Tortajada, C., & Ong, C. N. (2016). Reused water policies for potable use. *International Journal of Water Resources Development*, 32(4), 500–502. <https://doi.org/10.1080/07900627.2016.1179174>
- Ubomba-Jaswa, E., Navntoft, C., Polo-López, M. I., Fernández-Ibáñez, P., & McGuigan, K. G. (2009). Solar disinfection of drinking water (SODIS): An investigation of the effect of UV-A dose on inactivation efficiency. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 8(5), 587–595. <https://doi.org/10.1039/B816593A>

-
- Verma, S., Daverey, A., & Sharma, A. (2017). Slow sand filtration for water and wastewater treatment: A review. *Environmental Technology Reviews*, 6(1), 47–58. <https://doi.org/10.1080/21622515.2017.1285540>
- Vigneswaran, S. (2004). Recycle and reuse of domestic wastewater. In *Waste recycle, reuse, and reclamation*. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Eolss Publishers.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Reidy Liermann, C., et al. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Wijaya, I. M. W., & Soedjono, E. S. (2018). Domestic wastewater in Indonesia: Challenge in the future related to nitrogen content. *International Journal of GEOMATE*, 15(47), 32–41. <https://doi.org/10.21660/2018.47.7178>
- Williams, D., Silverman, G. P., Hendricks, D. W., & Logsdon, G. S. (1985). Removing Giardia cysts with slow sand filtration. *Journal - American Water Works Association*, 77(2), 52–60. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1985.tb05646.x>
- World Health Organization. (2003). *Domestic water quantity, service level and health*. World Health Organization.
- Wu, G. L., Liu, Y., Yang, Z., Cui, Z., Deng, L., Chang, X. F., & Shi, Z. H. (2017). Root channels indicate the increase in soil matrix water infiltration capacity of arid reclaimed mine soils. *Journal of Hydrology*, 546, 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.002>
- Yi, L., Jiao, W., Chen, X., & Chen, W. (2011). An overview of reclaimed water reuse in China. *Journal of Environmental Sciences*, 23(10), 1585–1593. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60546-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60546-3)