

DESAIN LAHAN BASAH BUATAN TIPE *FREE WATER SURFACE* UNTUK PENGOLAHAN AIR SUNGAI PENJEMURAN

P.K. Wardhani^{1*}, F. Hadinata¹, N.S.R. Putri¹ dan R. Hafizhan¹

¹Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: puterikusumawardhani@unsri.ac.id

ABSTRAK: Sungai Penjemuran di Kota Palembang mengalami pencemaran akibat limpasan air lindi dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sukawinatan yang dekat dengan aliran sungai. Kondisi ini menyebabkan penurunan kualitas air secara signifikan, ditandai dengan nilai kadar BOD, COD, TSS, dan amonia yang berada di atas baku mutu air kelas II untuk peruntukan budidaya perairan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem lahan basah buatan (constructed wetland) tipe Free Water Surface (FWS) sebagai alternatif teknologi pengolahan air sungai tercemar, yang dikembangkan dari skala laboratorium yang kemudian diadaptasi untuk skala lapangan. Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi waktu tinggal hidrolis (12, 24, 48, dan 72 jam) terhadap efisiensi penyisihan BOD, COD, TSS, amonia, dan pH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu tinggal 72 jam memberikan hasil terbaik dengan efisiensi penyisihan sebesar 86% untuk BOD, 66,5% untuk COD, 88% untuk TSS dan 47% untuk amonia. Pada kondisi ini, parameter BOD, COD, TSS, dan pH telah memenuhi baku mutu kelas II, sementara amonia mengalami penurunan signifikan namun masih sedikit di atas baku mutu. Sistem FWS skala lapangan juga dirancang dengan unit filtrasi, sedimentasi, dan aerasi, dengan estimasi biaya pembangunan sebesar Rp. 29.000.000. Hasil penelitian ini mendukung penerapan lahan basah buatan tipe FWS sebagai solusi berkelanjutan untuk pengolahan air sungai tercemar.

Kata Kunci: Lahan basah buatan, *Free Water Surface*, kualitas air, Sungai Penjemuran, waktu tinggal hidrolis

ABSTRACT: The Penjemuran River in Palembang has been polluted by leachate runoff from the Sukawinatan Landfill. The landfill is situated near the river's flow. This condition has led to a significant decline in water quality. Elevated BOD, COD, TSS, and ammonia levels now exceed the Class II water quality standards for aquaculture purposes. This study aims to design and evaluate a Free Water Surface (FWS) constructed wetland system as an alternative treatment technology for contaminated river water. The system was developed from a laboratory-scale project and later adapted for field-scale application. The research examined the effect of varying hydraulic retention times (12, 24, 48, and 72 hours) on the removal efficiency of BOD, COD, TSS, ammonia, and pH. The results showed that a 72-hour retention time achieved the best performance. Removal efficiencies were achieved at 86% for BOD, 66.5% for COD, 88% for TSS, and 47% for ammonia. Under this condition, BOD, COD, TSS, and pH met the Class II water quality standards. However, ammonia, though reduced, remained slightly above the allowable limit. A field-scale FWS system was also designed. It incorporates filtration, sedimentation, and aeration units, with an estimated construction cost of IDR 29,000,000. These findings support the application of FWS constructed wetlands as a sustainable solution for treating leachate-impacted river water.

Keywords: Keywords: Constructed wetland, Free Water Surface, hydraulic retention time, Penjemuran River, water quality

1 Pendahuluan

Sungai Penjemuran di Kecamatan Sukarami, Kota Palembang, sebelumnya menjadi sumber utama air untuk keperluan budidaya perairan dan kebutuhan masyarakat setempat. Namun, sejak Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sukawinatan tidak lagi

memiliki instalasi pengolahan air lindi, limbah lindi yang kaya bahan organik dan amonia mencemari aliran sungai. Akibatnya, kualitas air Sungai Penjemuran menurun drastis, menyebabkan perubahan warna air menjadi hitam, bau menyengat, dan tingginya kadar zat pencemar seperti BOD, COD, dan amonia. Data kualitas awal air Sungai

Penjemuran menunjukkan BOD 26,3 mg/L, COD 90,2 mg/L, TSS 54,9 mg/L, amonia 0,21 mg/L, dan pH 6,37, yang semuanya melebihi ambang batas baku mutu air kelas II sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021[1].

Berbagai penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas teknologi lahan basah buatan dalam menurunkan konsentrasi polutan di badan air. Teknologi ini bekerja dengan memanfaatkan proses fisika, kimia, dan biologi yang menyerupai ekosistem rawa alami untuk menyisihkan beban polutan organik, nutrien, logam berat, dan juga polutan mikro seperti *pharmaceutical and personal care products* (PPCPs) [2], [3], [4], [5].

Penelitian yang dilakukan oleh Salinas Toledano *et al.* [2] menunjukkan bahwa pengoperasian lahan basah buatan yang tepat dapat meningkatkan efisiensi penyisihan polutan, dan juga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca melalui pengaturan waktu tinggal hidraulik dan kedalaman air. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Zhao *et al.* [3] menunjukkan bahwa parameter hidraulik seperti waktu tinggal hidraulik (HRT) dan laju pembebanan hidraulik (HLR) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja penyisihan polutan.

Oktavia *et al.* [4] menemukan bahwa sistem lahan basah buatan dengan tanaman *Cyperus papyrus* mampu menyisihkan BOD hingga 66% dan TSS hingga 84% pada limbah cair rumah makan. Sementara, Al Kholif *et al.* [5] melaporkan efisiensi penyisihan BOD sebesar 24% dan COD sebesar 19% pada limbah domestik menggunakan kombinasi tanaman melati air dan bambu air.

Masriyanto [6] meneliti efektivitas sistem lahan basah buatan tipe *Free Water Surface* (FWS) dalam mengolah air Sungai Brantas yang tercemar. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem FWS mampu menurunkan BOD sebesar 89%, COD sebesar 88%, dan amonia sebesar 81%. Hasil tersebut membuktikan bahwa sistem FWS efektif dalam mengurangi polutan organik dan anorganik dari badan air yang tercemar berat, termasuk parameter-parameter utama yang menjadi indikator pencemaran seperti BOD, COD, dan amonia.

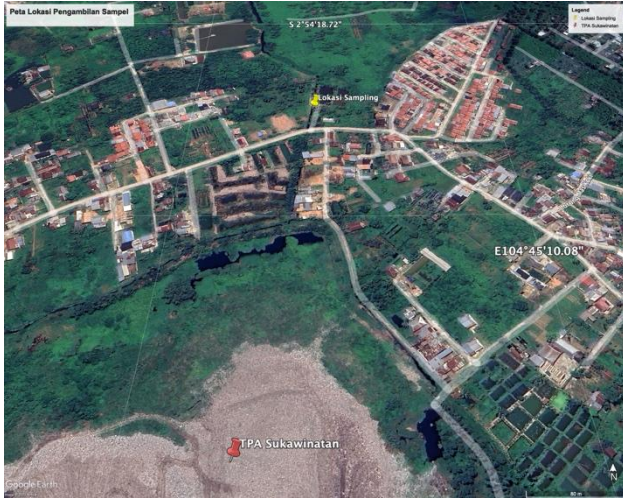
Meskipun demikian, penerapan lahan basah buatan untuk mengatasi pencemaran sungai oleh lindi TPA masih sangat terbatas. Kajian oleh Bakhshoodeh *et al.* [7] menunjukkan bahwa lahan basah buatan tipe FWS mampu menurunkan BOD₅, COD, dan amonia pada lindi TPA. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap penelitian dengan mengkaji efektivitas sistem lahan basah buatan tipe FWS dalam menurunkan kadar BOD, COD, TSS, amonia, dan pH pada air Sungai Penjemuran serta merancang sistem pengolahan skala lapangan yang sesuai dengan kondisi lingkungan setempat.

2 Metodologi

Metodologi yang digunakan terdiri dari beberapa tahapan penelitian, yang mencakup metode pengambilan sampel, persiapan alat dan bahan skala laboratorium, perancangan sistem constructed wetland tipe *Free Water Surface* (FWS), serta metode analisis kualitas air yang mengikuti standar SNI.

2.1 Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air Sungai Penjemuran dilakukan secara grab sample pada tanggal 4 September 2024 pukul 10.00 WIB. Lokasi pengambilan berada di titik aliran sungai yang paling dekat dengan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sukawinatan. Metode ini mengikuti ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.59:2008 tentang Tata Cara Pengambilan Contoh Air Permukaan [8]. Debit aliran sungai saat pengambilan sampel tercatat sebesar 0,25 m³/s. Air sampel ditempatkan dalam botol plastik dengan kapasitas 2 liter dan disimpan dalam *cool box* untuk menjaga kestabilan suhu hingga tiba di laboratorium dalam waktu kurang dari 4 jam setelah pengambilan. Sampel diuji di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Selatan dengan parameter yang diuji adalah BOD, COD, TSS dan amonia.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel air Sungai Penjemuran di sekitar TPA Sukawinatan, Kota Palembang (Sumber: Google Earth, 2025).

2.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan satu buah tangki kaca dengan ukuran 60 cm x 30 cm x 50 cm, yang dirancang untuk sistem lahan basah buatan tipe FWS (Gambar 2). Di dasar tangki disusun substrat filter berupa kerikil berdiameter 20–40 mm setebal 10 cm, di atasnya dilapisi pasir halus setebal 10 cm [9]. Tanaman air yang digunakan adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebanyak 2 rumpun untuk setiap tangki dengan kerapatan padat. Pemilihan tanaman ini didasarkan pada kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi, logam berat, dan amonia secara efektif melalui fitoremediasi [10]. Sistem aliran air dikontrol dengan pipa PVC berdiameter ½ inci yang dilengkapi kran pada setiap saluran masuk dan keluar. Variasi waktu tinggal (*hydraulic retention time/HRT*) diatur menjadi 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. Volume air yang diolah dalam tangki adalah 90 liter, sesuai kapasitas tangki dengan mempertimbangkan ruang untuk tanaman. Suhu ruangan laboratorium berkisar antara 28°C hingga 30°C selama proses penelitian.



Gambar 2. Sistem lahan basah buatan tipe FWS skala laboratorium.

2.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan proses adaptasi tanaman eceng gondok selama 7 hari di media air bersih yang tidak tercemar limbah. Tujuan dari adaptasi ini adalah memastikan bahwa tanaman dalam kondisi sehat dan mampu berfungsi optimal sebagai agen fitoremediasi [5], [10]. Setelah tahap adaptasi selesai, dilakukan persiapan media filter berupa substrat kerikil dan pasir. Substrat dicuci bersih terlebih dahulu untuk menghilangkan partikel halus yang dapat menyebabkan penyumbatan pada media, kemudian dikeringkan dan disusun secara berlapis di dalam tangki yang telah disiapkan. Susunan Pemilihan pasir dan kerikil sebagai media filtrasi untuk mendukung pertumbuhan biofilm agar mempercepat proses penyisihan BOD dan COD [11].

Langkah berikutnya adalah pengisian air Sungai Penjemuran ke dalam tangki. Proses pengolahan dilakukan dengan membiarkan air mengendap di dalam sistem, sehingga terjadi proses filtrasi secara alami melalui lapisan media filter dan penyerapan polutan oleh tanaman eceng gondok. Variasi waktu tinggal dalam sistem ditetapkan selama 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. Setelah waktu tinggal selesai, dilakukan pengambilan sampel air dari outlet tangki untuk dianalisis di laboratorium. Analisis ini mencakup pengukuran parameter kualitas air, antara lain BOD, COD, TSS, TDS, amonia, dan pH. Setiap tahap dilakukan secara sistematis untuk memastikan validitas hasil penelitian serta memberikan gambaran akurat mengenai efektivitas sistem lahan basah

buatan tipe FWS dalam memperbaiki kualitas air Sungai Penjemuran.

2.4 Desain Skala Lapangan

Desain skala lapangan sistem lahan basah buatan mempertahankan prinsip utama dari sistem pada skala laboratorium dengan beberapa penyesuaian untuk meningkatkan kapasitas dan efisiensi. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen, yaitu bak filtrasi mekanis, bak sedimentasi, unit lahan basah buatan dengan tipe FWS, sistem aerasi, dan tangki penampungan.

Bak filtrasi mekanis berfungsi untuk menyaring kotoran berukuran besar, seperti daun, plastik, dan partikel kasar, sebelum air masuk ke tahap pengolahan berikutnya. Selanjutnya, air mengalir ke bak sedimentasi untuk memungkinkan partikel mengendap secara gravitasi. Unit lahan basah buatan dengan tipe aliran permukaan terbuka (FWS). Substrat terdiri dari pasir dan kerikil, yang berfungsi sebagai media penopang akar sekaligus sebagai zona filtrasi biologis dan fisik. Sistem aerasi ditambahkan untuk meningkatkan oksigen terlarut (DO) di dalam air. Air hasil olahan selanjutnya dialirkan ke dalam tangki penampungan untuk digunakan sebagai sumber air baku di area tambak ikan milik warga sekitar.

2.5 Estimasi Biaya

Estimasi biaya pembangunan sistem lahan basah buatan skala lapangan dilakukan menggunakan pendekatan item-based cost estimation berdasarkan kebutuhan material, peralatan, tanaman, dan tenaga kerja. Penyusunan Rincian Anggaran Biaya (RAB) mengacu pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Kota Palembang Tahun 2022 sebagai dasar penentuan harga satuan material dan upah tenaga kerja. Asumsi perhitungan meliputi:

- (1) Kebutuhan volume material yang dihitung dari dimensi rancangan unit filtrasi, sedimentasi, dan FWS;

- (2) Harga pasar lokal untuk material seperti pasir, kerikil, geomembran, pipa PVC, drum 200 L, dan tangki fiberglass;
- (3) Kebutuhan tanaman eceng gondok per luas permukaan; serta
- (4) Biaya tenaga kerja berdasarkan koefisien analisis pada AHSP.

Total biaya diperoleh dari penjumlahan seluruh komponen material, peralatan, dan tenaga kerja tanpa memasukkan biaya operasional jangka panjang. Metode ini digunakan untuk memberikan estimasi realistis terhadap kebutuhan anggaran pembangunan sistem FWS skala lapangan.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Kualitas Air Sungai Penjemuran Sebelum dan Sesudah Pengolahan

Hasil analisis kualitas air Sungai Penjemuran sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan sistem Free Water Surface Constructed Wetland (FWS CW) dengan variasi waktu tinggal 12, 24, 48, dan 72 jam disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Kualitas Air Sungai Penjemuran pada Variasi Waktu Tinggal dalam Sistem Lahan Basah Buatan Tipe FWS

Parameter	Sampel Awal	Variasi waktu tinggal				Baku Mutu Air Limbah*
		12 jam	24 jam	48 jam	72 jam	
BOD (mg/L)	26,3	4,95	4,41	14,9	3,67	3
COD (mg/L)	90,2	32	28,3	79,4	30,2	25
TSS (mg/L)	54,9	23,8	17,9	10,2	6,55	50
Amonia (mg/L)	0,21	0,842	0,759	0,778	0,111	0,2
pH	6,37	6,43	6,43	6,67	6,74	6-9

*Sumber: PP No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup[1].

3.2 Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Efektivitas Penyisihan Polutan

3.2.1 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Konsentrasi awal BOD air Sungai Penjemuran tercatat sebesar 26,3 mg/L. Nilai ini melebihi baku mutu air kelas II yang disyaratkan sebesar 3 mg/L [1]. Setelah diolah pada sistem lahan basah buatan tipe FWS, diperoleh penurunan signifikan pada masing-masing variasi waktu tinggal. Pada waktu tinggal 12 jam, kadar BOD menurun menjadi 4,95 mg/L atau setara dengan efisiensi penyisihan sebesar 81,16%. Penurunan ini disebabkan oleh proses biodegradasi awal oleh mikroorganisme yang berkembang di media filter dan akar tanaman eceng gondok. Pada waktu tinggal 24 jam, BOD turun lebih lanjut menjadi 4,41 mg/L, dengan efisiensi penyisihan mencapai 83,21%. Proses penurunan ini dipengaruhi oleh peningkatan aktivitas mikroorganisme aerobik yang memanfaatkan oksigen terlarut untuk menguraikan bahan organik [3], [6], [11].

Namun, pada waktu tinggal 48 jam, terjadi kenaikan BOD menjadi 14,9 mg/L. Kenaikan ini disebabkan oleh akumulasi bahan organik terdegradasi yang melepaskan senyawa organik larut kembali ke dalam air akibat dekomposisi lanjutan, ditambah dengan peningkatan populasi mikroorganisme yang meningkatkan kebutuhan oksigen secara signifikan. Pada waktu tinggal 72 jam, kadar BOD kembali menurun menjadi 3,67 mg/L, dengan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 86,05%. Penurunan ini menunjukkan bahwa sistem mulai mencapai kestabilan ekologi dan kemampuan *self-purification* optimal. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Masriyanto *et al.*[6] dimana efisiensi penyisihan BOD sebesar 89% pada sistem FWS yang diterapkan pada pengolahan air Sungai Brantas.

3.2.2 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Kadar awal COD pada air Sungai Penjemuran adalah 90,2 mg/L, jauh di atas ambang batas yang diperbolehkan, yaitu sebesar 10 mg/L [1]. Setelah waktu tinggal 12 jam, COD menurun menjadi 32 mg/L, menunjukkan efisiensi penyisihan sebesar 64,52%. Penurunan ini dikarenakan adanya penyerapan bahan organik oleh media substrat serta aktivitas mikroorganisme heterotrof [3], [11], [12]. Pada 24 jam, COD turun lebih jauh menjadi 28,3 mg/L, dengan efisiensi 68,57%. Hal ini menandakan adanya peningkatan stabilitas proses biologis dan oksidatif di dalam sistem [2], [11], [12].

Namun, pada waktu tinggal 48 jam, terjadi peningkatan COD menjadi 79,4 mg/L. Hal ini dikarenakan adanya pelepasan senyawa organik terlarut dari dekomposisi bahan organik dalam substrat, disertai degradasi tanaman yang mulai mengalami peluruhan jaringan. Setelah 72 jam, kadar COD kembali menurun menjadi 30,2 mg/L (penyisihan 66,53%), mencerminkan bahwa sistem telah mampu mengendalikan proses dekomposisi dan penyerapan zat organik secara efisien [3], [7].

3.2.3 *Total Suspended Solid (TSS)*

Konsentrasi awal TSS adalah 54,9 mg/L. Nilai ini menurun signifikan setelah 12 jam waktu tinggal menjadi 23,8 mg/L (efisiensi 56,65%). Proses penurunan ini disebabkan oleh sedimentasi partikel tersuspensi melalui media substrat kerikil dan pasir, serta pengendapan partikel berat akibat gaya gravitasi. Pada waktu tinggal 24 jam, TSS turun menjadi 17,9 mg/L dengan efisiensi 67,4%, menunjukkan peningkatan efektifitas proses penyaringan partikel yang lebih halus. Pada 48 jam, TSS menurun lebih lanjut menjadi 10,2 mg/L (81,43%), dan pada 72 jam mencapai 6,55 mg/L, dengan efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 88,06%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan purifikasi air secara konsisten, berkat kombinasi proses filtrasi fisik dan peran akar tanaman eceng gondok yang membantu menjebak partikel

tersuspensi. Penyisihan meningkat secara signifikan dengan waktu tinggal yang lebih lama.

Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Maine *et al.* [13] dan Kadlec dan Wallace [11], yang menjelaskan efisiensi penyisihan TSS pada sistem lahan basah buatan sangat dipengaruhi oleh struktur lapisan substrat, waktu tinggal, serta interaksi akar tanaman dengan aliran air. Selain itu, Oktavia *et al.* [4] menyebutkan bahwa tanaman eceng gondok dapat meningkatkan efisiensi penyisihan padatan tersuspensi melalui mekanisme penyaringan alami pada perakaran tanaman.

3.2.4 Amonia

Konsentrasi awal amonia dalam air Sungai Penjemuran adalah 0,21 mg/L. Pada waktu tinggal 12 jam, terjadi peningkatan kadar amonia menjadi 0,842 mg/L. Peningkatan ini disebabkan oleh proses dekomposisi bahan organik yang melepaskan nitrogen amonia ke dalam air, ditambah dengan aktivitas mikroorganisme anaerob pada substrat dasar sistem.

Pada waktu tinggal 24 jam, kadar amonia sedikit menurun menjadi 0,759 mg/L, yang menunjukkan bahwa mulai terjadi proses nitrifikasi oleh bakteri nitrifikasi. Namun, pada 48 jam, kadar amonia kembali naik menjadi 0,778 mg/L akibat ketidakseimbangan proses nitrifikasi dan pelepasan amonia baru dari dekomposisi lanjutan. Pada waktu tinggal 72 jam, kadar amonia menurun signifikan menjadi 0,111 mg/L, dengan efisiensi penyisihan mencapai 47,14%. Proses ini terjadi karena akumulasi oksigen terlarut yang mendukung dominasi bakteri nitrifikasi dan penyerapan amonia oleh tanaman eceng gondok. Hasil ini sejalan dengan Kamilya *et al.* [14] yang menjelaskan bahwa proses nitrifikasi dan penyerapan oleh tanaman merupakan mekanisme utama dalam penyisihan amonia pada sistem lahan basah buatan.

3.2.5 pH

Nilai pH tetap stabil dalam rentang baku mutu air kelas II selama penelitian. Pada awalnya, pH air

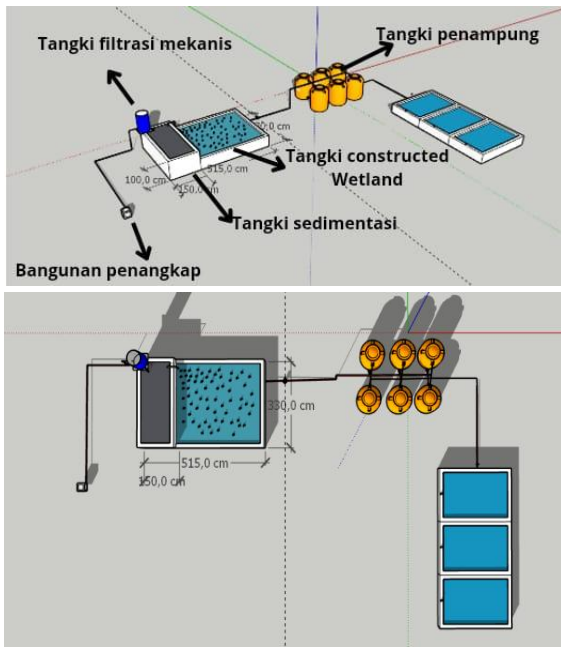
Sungai Penjemuran tercemar berada di angka 6,37. Setelah melalui proses constructed wetland, pH meningkat secara bertahap menjadi 6,43 pada 12 dan 24 jam, lalu 6,67 pada 48 jam, dan akhirnya mencapai 6,74 pada 72 jam. Peningkatan nilai pH terjadi karena adanya peningkatan oksigen terlarut akibat aktivitas fotosintesis dan penurunan beban organik [11]. Hal ini menunjukkan bahwa sistem lahan basah buatan tipe FWS mampu menjaga keseimbangan kimia dalam air yang diolah, sehingga menghasilkan lingkungan yang lebih mendukung bagi ekosistem perairan.

3.2.6 Sistem Lahan Basah Buatan Skala Lapangan

Sistem lahan basah buatan skala lapangan yang mengolah air Sungai Penjemuran dirancang dengan mempertahankan prinsip dasar sistem lahan basah buatan tipe FWS yang digunakan pada skala laboratorium, namun dengan penyesuaian kapasitas dan dimensi untuk menampung debit aliran sungai yang lebih besar. Detail unit pengolahan pada skala lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.

Unit pengolahan terdiri atas beberapa komponen utama meliputi:

- (5) Bak penangkap air berukuran 30 cm x 30 cm dengan pompa submersible 3000 L/jam.
- (6) Bak filtrasi mekanis berupa drum 200 liter yang berisi media kapas filter.
- (7) Bak sedimentasi berukuran 120 cm x 300 cm x 90 cm, dengan waktu tinggal 3 hari.
- (8) Tangki constructed wetland tipe FWS berukuran 350 cm x 300 cm x 60 cm, substrat pasir-kerikil 20 cm, tanaman eceng gondok.
- (9) Tangki penampung hasil olahan sebanyak 6 buah berkapasitas masing-masing 1000 liter, dilengkapi aerasi.



Gambar 3. Sistem lahan basah buatan tipe FWS skala lapangan.

Total rencana anggaran biaya pembangunan sistem ini sebesar Rp29.000.000, mencakup semua komponen dan instalasi. Adapun rincian perhitungan biaya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rencana Anggaran Biaya Sistem Lahan Basah Buatan Tipe FWS

Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp.)
Bangunan penangkap air	598.239
Filtrasi mekanis	544.000
Tangki sedimentasi	7.758.888
Tangki lahan basah buatan	10.186.401
Tangki penampung	9.852.000
Jumlah	28.939.528
Pembulatan	29.000.000

4 Kesimpulan

Lahan basah buatan tipe FWS efektif menurunkan kadar BOD, COD, TSS, dan amonia di air Sungai Penjemuran. Waktu tinggal optimal 72 jam

memberikan kualitas air mendekati baku mutu kelas II, memungkinkan penggunaan air untuk budidaya perairan. Namun, penelitian ini memiliki beberapa kelemahan dan keterbatasan. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan kondisi lingkungan yang terkontrol, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan dinamika di lapangan, seperti fluktuasi debit, pengaruh musim (musim hujan dan musim kemarau), variasi suhu, dan beban pencemar yang berubah-ubah. Selain itu, sistem hanya diuji menggunakan satu jenis tanaman (eceng gondok) dan satu tipe media substrat (pasir dan kerikil), sehingga kemungkinan adanya tanaman atau substrat lain yang lebih efektif belum dieksplorasi.

Penelitian juga belum mempertimbangkan potensi akumulasi logam berat dan patogen yang dapat mempengaruhi kinerja dan keberlanjutan sistem lahan basah buatan dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pengembangan penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menguji kinerja sistem pada skala lapangan dengan variasi debit dan musim, mengevaluasi efisiensi berbagai jenis tanaman dan media substrat, serta mempertimbangkan aspek ekonomi dan keberlanjutan pengelolaan sistem lahan basah buatan.

Daftar Pustaka

- [1] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Sekretariat Negara Republik Indonesia, 2021.
- [2] M. A. Salinas-Toledano, T. L. Gómez-Borraz, M. A. Belmont, and F. Y. Garcia-Becerra, "Optimizing constructed wetland design and operation for dual benefits: A critical review to enhance micropollutant removal while mitigating greenhouse gas emissions," Dec. 15, 2024, *Academic Press Inc.* doi: 10.1016/j.envres.2024.120144.
- [3] F. Zhao *et al.*, "Review of hydraulic conditions optimization for constructed

- wetlands,” Nov. 01, 2024, *Academic Press*. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.122377.
- [4] L. Oktavia, A. D. N. Hidayat, A. R. Purnama, and T. Taqwanur, “Efektifitas Kombinasi Media dalam Penyisihan BOD dan TSS Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Constructed Wetland dengan Tanaman *Cyperus Papyrus*,” *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 8, no. 2, pp. 74–82, Aug. 2023, doi: 10.33084/mitl.v8i2.5519.
- [5] M. Al Kholif, P. Pungut, and S. I. Nezarudin, “Penerapan Teknologi Constructed Wetland (CW) dalam Menurunkan Kadar Cemar pada Air Limbah Domestik,” *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 10, no. 1, pp. 1–11, Apr. 2023, doi: 10.21776/ub.jsal.2023.010.01.1.
- [6] P. W. Masriyanto, A. Yulistyorini, and D. Ariestadi, “Application of Free Water Surface Constructed Wetland for Reduction of Brantas River Pollutants,” vol. 20, no. 1, pp. 93–103, 2023.
- [7] R. Bakhshoodeh *et al.*, “Constructed wetlands for landfill leachate treatment: A review,” Mar. 01, 2020, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.ecoleng.2020.105725.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 6989.59:2008 Metoda pengambilan contoh air permukaan,” 2008, *BSN*.
- [9] R. H. Kadlec and S. Wallace, *Treatment Wetlands, Second Edition by Robert H. Kadlec, Scott Wallace (z-lib.org)*. 2008.
- [10] A. G. Ilmannafian, E. Lestari, and F. Khairunisa, “Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Metode Filtrasi Dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eeceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*),” *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 21, no. 2, pp. 244–253, Jul. 2020.
- [11] R. H. . Kadlec and S. D. . Wallace, *Treatment wetlands*. CRC Press, 2009.
- [12] G. David, M. S. Rana, S. Saxena, S. Sharma, D. Pant, and S. K. Prajapati, “A review on design, operation, and maintenance of constructed wetlands for removal of nutrients and emerging contaminants,” Aug. 01, 2023, *Institute for Ionics*. doi: 10.1007/s13762-022-04442-y.
- [13] M. A. Maine *et al.*, “Long-term performance of two free-water surface wetlands for metallurgical effluent treatment,” *Ecol Eng*, vol. 98, pp. 372–377, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.07.005.
- [14] T. Kamilya, A. Majumder, M. K. Yadav, S. Ayoob, S. Tripathy, and A. K. Gupta, “Nutrient pollution and its remediation using constructed wetlands: Insights into removal and recovery mechanisms, modifications and sustainable aspects,” *J Environ Chem Eng*, vol. 10, no. 3, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jece.2022.107444.