

ANALISIS BEBAN PAPARAN LIMBAH FOSFAT (PO₄) PERTANAMAN PERLUAS LAHAN PADA SUB SURFACE CONSTRUCTED WETLAND

Ernastin Maria^{1*}

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Energi, Institut Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

*Email: ernastinmaria@ity.ac.id

Diterima: 08 Januari 2025. Disetujui: 30 Maret 2025. Dipublikasikan: 07 April 2025

Abstrak: Air limbah deterjen mengandung ABS (*Alkylbenzene sulfonate*) merupakan salah satu bahan kimia yang sulit terurai. Selain ABS deterjen juga mengandung fosfat yang berasal dari *Sodium tripolyphosphate* (STPP). Kandungan fosfat yang terdapat dalam limbah deterjen yang dihasilkan terus menerus mengakibatkan keseimbangan ekosistem disekitar menjadi terganggu. Fosfat yang berlebih menyebabkan peristiwa eutrofikasi pada perairan akibat pengkayaan unsur fosfat yang memicu percepatan pertumbuhan tanaman air sehingga lapisan permukaan air tertutup oleh tanaman membuat sinar matahari tidak dapat menembus perairan. Untuk menghindari pencemaran lingkungan penelitian secara biologi dengan memanfaatkan tanaman air (*Typha latifolia* dan *Cyperus alternifolius*) dianggap lebih ramah dan aplikatif dalam menurunkan kandungan bahan pencemar. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi seberapa banyak beban pencemar yang terpapar dalam tanaman, dan seberapa banyak tanaman yang dibutuhkan perluas lahan yang digunakan dalam pengaplikasian. Hasil penelitian menunjukkan beban fosfat untuk tanaman *Typha media* arang dengan konsentrasi paparan 6,025 mg/L yakni sebesar 1,28 mg/m²/Tanaman, untuk media kerikil dengan konsentrasi paparan 1,100 mg/L yakni sebesar 0,23 mg/m²/Tanaman. Beban Fosfat untuk tanaman *Cyperus media* arang dengan konsentrasi paparan fosfat 4,200 mg/L yakni sebesar 0,88 mg/m²/Tanaman, untuk media kerikil dengan konsentrasi paparan Fosfat 3,588 mg/L yakni sebesar 0,75 mg/m²/Tanaman. diketahui Beban konsentrasi Fosfat perluas lahan pertanian sebesar 2,69 mg/m²/tanaman

Keywords: tanaman air, fosfat, beban paparan

PENDAHULUAN

Industri laundry merupakan salah satu industry yang berkembang sangat pesat dewasa ini, Kandungan bahan pencemar yang terdapat dalam air limbah Laundry dapat menimbulkan dampak negatif pada kehidupan biota sehingga berakibat terjadinya pencemaran pada badan air. Bahan aktif yang banyak terkandung pada pelembut pakaian dan deterjen adalah *kwaterner ammonium klorida*, LAS, *sodium dodecyl benzene sulfonate*, *natrium karbonat*, *natrium fosfat*, *alkilbenzena sulfonate*. Bahan-bahan tersebut merupakan bahan yang ramah lingkungan dan biodegradable [1].

Deterjen merupakan salah satu bahan yang setiap hari digunakan oleh manusia dalam proses pencucian pada industri laundry, volume penggunaan yang terus menerus membuat bahan ini menjadi salah satu bahan yang mencemari lingkungan, baik lingkungan darat maupun aquatic karena kandungan kimia yang terdapat di dalamnya. Air limbah deterjen mengandung ABS (*Alkylbenzene sulfonate*) merupakan salah satu bahan kimia yang sulit terurai. Selain ABS deterjen juga mengandung fosfat yang berasal dari *Sodium tripolyphosphate* (STPP) merupakan salah satu campuran bahan deterjen. Kandungan fosfat yang berlebih dalam lingkungan perairan akan memicu terjadinya eutrofikasi yakni penumpukan bahan organik berlebih sehingga mengakibatkan proses blooming bagi tumbuhan perairan. Terjadinya percepatan pertumbuhan tersebut mengakibatkan keseimbangan ekosistem perairan terganggu diakibatkan tumbuhan menutupi permukaan perairan sehingga matahari tidak dapat tembus sampai ke kedalaman perairan [2] Air limbah industri laundry yang keruh mengandung TSS yang tinggi. Kekeruhan air dapat menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam air Sungai sehingga mengganggu proses fotosintesis organisme akuatik autotrof. Sementara itu, fosfat dalam builders dapat meningkatkan kesuburan air. Perairan yang subur akan

menyebabkan terjadi blooming alga yang akan mengganggu ekosistem perairan [3].

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menurunkan kandungan fosfat secara alami adalah dengan memanfaatkan penyerapan menggunakan tanaman disekitar kita. Tumbuhan memerlukan 16 nutrisi, semua elemen yang tersedia dalam air dan udara, atau sebagai mineral yang terlarut sebagai ion dalam air. 9 elemen adalah makronutrien yang dibutuhkan lebih dari 0,5% per bobot kering tumbuhan. Fosfor diambil tanaman dalam bentuk ion orthofosfat primer dan sekunder (H₂PO⁴⁻ atau HPO₄²⁻). Penyerapan ion-ion dipengaruhi oleh pH daerah sekitar perakaran tanaman. Pada saat pH rendah, tanaman lebih banyak menyerap ion orthofosfat primer, pada saat pH lebih tinggi tanaman lebih banyak menyerap ion orthofosfat. Pemanfaatan tanaman untuk menyerap kontaminan dikenal dengan metode fitoremediasi, da beberapa strategi fitoremediasi yang sudah digunakan secara komersial maupun masih dalam taraf riset yaitu strategi berlandaskan pada kemampuan mengakumulasi kontaminan (*phytoextraction*) atau pada kemampuan menyerap dan mentranspirasi air dari dalam tanah (*creation of hydraulic barriers*). Kemampuan akar menyerap kontaminan dari air tanah (*rhizofiltration*) dan kemampuan tumbuhan dalam memetabolisme kontaminan di dalam jaringan (*phytotransformation*) juga digunakan dalam strategi fitoremediasi [4].

Proses Fitoremediasi dapat dilakukan pada lahan basah buatan. Dua jenis utama lahan basah buatan adalah aliran permukaan dan aliran bawah permukaan. Pada lahan basah buatan aliran permukaan, air mengalir di atas tanah. Lahan basah buatan aliran bawah permukaan dirancang untuk menjaga permukaan air di bawah bagian atas media batu atau kerikil, sehingga meminimalkan paparan manusia dan ekologi. Lahan basah aliran bawah

permukaan menunjukkan tingkat penghilangan kontaminan yang lebih tinggi per unit lahan daripada lahan basah aliran permukaan (permukaan air bebas), oleh karena itu lahan basah aliran bawah permukaan bisa lebih kecil sambil mencapai tingkat penghilangan kontaminan yang sama [5]. Karena keberadaan tanaman air tersebut, sistimlahan basah (CWs) disebut dengan green technology. Meskipun tanaman air merupakan komponen utama di dalam ekosistem lahan basah, pengolahan limbah mencakup beragam proses fisik, kimia, biologi, dan proses diantaratanaman-mediasubstrate-mikroorganisme[6].

Tanaman air seperti *Typha latifolia* dan *Cyperus alternifolius* merupakan jenis tanaman yang sudah terbukti dapat menurunkan kandungan limbah cair, kedua tanaman tersebut merupakan tanaman hias yang memiliki nilai estetika dan mudah didapatkan di lingkungan sekitar menjadikan penelitian ini lebih mudah, murah, dan aplikatif [7].

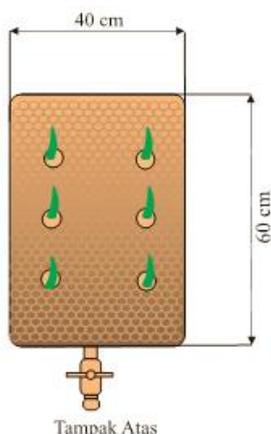
Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi seberapa banyak beban pencemar yang terpapar dalam tanaman, dan seberapa banyak tanaman yang dibutuhkan perluas lahan yang digunakan dalam pengaplikasian.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan air limbah deterjen hasil buangan cucian salah satu industri laundry. Penelitian ini menggunakan metode Fitoremediasi pada SSF-Wetland dan



Gambar 1. Skema Pengolahan Air Limbah Penelitian



Gambar 2. Alat Penelitian

Berdasarkan gambar 1 dan gambar 2 rancangan alat yang digunakan dalam penelitian yang didukung dengan alat dan bahan terdiri dari Bak plastik, media kerikil, arang, tanaman *Typha latifolia* dan *Cyperus alternifolius*. Deterjen dengan bahan aktif *Sodim Alkyl Benzene Sulfonate*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan air limbah deterjen salah satu industri laundry di Pedukuhan Kanutan, Desa Sumbermulyo, Bantul, Yogyakarta. Effluen dilewatkan pada kolam buatan untuk mengetahui penyisihan limbah

analisis perhitungan loading rate untuk menentukan beban paparan konsentrasi fosfat pada tanaman perluasan lahan. Metode Fitoremediasi merupakan teknik pemulihan lahan tercemar dengan menggunakan tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, menstransformasi dan mengimobilisasi bahan pencemar, baik itu logam berat maupun senyawa organik.

SSF-Wetland (*Sub surface constructed wetland*) adalah saluran yang diisi pasir dan kerikil, yang ditanami vegetasi air. Proses pengolahan air limbah dengan teknologi Constructed wetland dapat terjadi melalui proses kimia, fisika, dan biologis yang merupakan interaksi antara mikroorganisme. Constructed wetland terbagi menjadi dua tipe yaitu constructed wetland -emergent plants dan floating plants. Karakteristik constructed wetland -emergent plants yaitu memiliki kedalaman yang sangat dangkal, berada pada range 0,1 – 0,6 meter. Sedangkan constructed wetland floating plants dapat mencapai kedalaman 0,5 – 1,8 meter [8].

Rancangan alat (experiment rig) yang akan digunakan pada penelitian pada sistem SSF wetland ini adalah bak plastik berukuran 60 x 40 cm². Wetland artifisial pada penelitian ini seolah olah diposisikan pada tempat buangan hasil cucian laundry seperti pada skema di bawah ini:

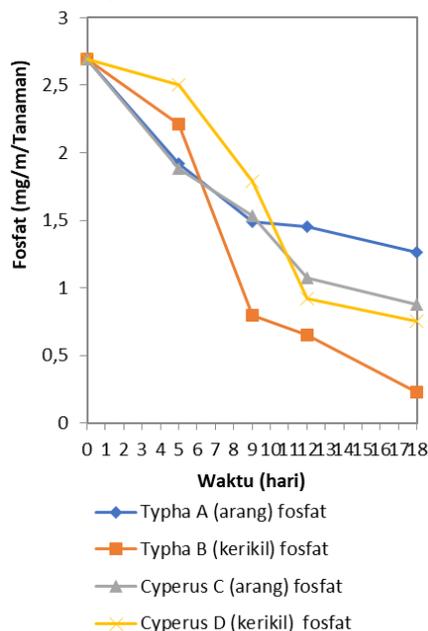
fosfat setelah dilakukan treatment dengan metode fitoremediasi pada SSF-Wetland menggunakan tanaman *Typha latifolia* dan *Cyperus alternifolius*. Sistem lahan basah buatan selalu berfungsi sebagai system pengolahan air alami, sudah banyak peneliti yang menggunakan system ini untuk memenuhi tujuan pengolahan air limbah dan kualitas air secara terkendali [7]. Desain lahan basah SSF menggunakan pendekatan dasar dalam mendorong terjadinya nitrifikasi dan denitrifikasi secara bersamaan pada media [9]. Proses fitoremediasi yang terjadi pada SSF-wetland bermula dari akartumbuhan yang menyerap bahan polutan yang terkandung dalam air. Kemudian melalui proses transportasi tumbuhan, air yang mengandung bahan polutan dialirkan ke seluruh tubuh tumbuhan, sehingga air yang menjadi bersih dari polutan. Tumbuhan ini dapat berperan langsung atau tidak langsung dalam proses remediasi lingkungan yang tercemar [10]. Tanaman hias jenis *Cyperus alternifolius* memiliki kinerja yang cukup baik dalam pengolahan air limbah rumah tangga dengan sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands) [11]. Removal bahan organik tinggi di semua jenis lahan basah buatan proses degradasi mikroba sebagian besar bersifat aerobik, pada jenis lahan basah lain (HF) proses anoksik dan anaerobik berlaku [12].

Tabel 1. Hasil penyisihan limbah Fosfat pada kolam buatan dengan Fitoremediasi tanaman *Typha latifolia* dan tanaman *Cyperus alternifolius*.

Tanaman	Hari Ke				
	0	5	9	12	18
<i>Typha latifolia</i> (media kerikil)	12,909	10,59	4,16	3,128	1,100
<i>Typha latifolia</i> (media arang)	12,909	9,19	7,150	6,960	6,025
<i>Cyperus alternifolius</i> (media kkerikil)	12,909	12,01	8,600	4,430	3,588
<i>Cyperus alternifolius</i> (media arang)	12,909	9,014	7,344	5,212	4,200

Berdasarkan data hasil perhitungan sebagaimana tersaji pada Tabel 1 diatas, lebih jelasnya beban paparan

(loading) fosfat pada SSF-wetland untuk kedua jenis tanaman disajikan pada Gambar 2 berikut;



Gambar 3. Perubahan loading Fosfat tanaman *Typha latifolia* dan *Cyperus alternifolius* persatuan luas lahan pertanian

Berdasarkan paparan tabel 2 dan gambar 3 menunjukkan unit wetland yang menggunakan media kerikil cenderung lebih besar dalam menurunkan konsentrasi fosfat di bandingkan dengan unit wetland dengan media arang yakni dengan konsentrasi fosfat 3,88 mg/L dimana mengalami efisiensi penyisihan sebesar 67% untuk media kerikil di akhir penelitian, dan 4,200 sebesar mg/L dengan efisiensi penurunan 67% untuk media arang diakhir penelitian. Sehingga dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa unit wetland artifisial SSF pada tanaman Cyperus dengan menggunakan media kerikil lebih baik dalam mendegradasi fosfat dibandingkan dengan unit wetland artifisial SSF dengan menggunakan media arang. Hal ini menunjukkan bahwa selain media, tanaman juga memiliki peran penting dalam penurunan konsentrasi air limbah deterjen didukung oleh penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya menggunakan tanaman lain (Kayu Apu) menunjukkan Fosfat air limbah deterjen mengalami penurunan pada konsentrasi 60% dengan perlakuan tanaman kayu apu sebesar 39,5% atau menurun dari 2,900 mg/L menjadi 2,121 mg/L [10].

Penentuan beban paparan (loading) fosfat (PO₄) pada tanaman untuk memprediksi luas lahan yang nantinya dapat digunakan untuk mengolah limbah juga mengetahui beban

paparan (loading) limbah pertanian dapat diketahui dengan melakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Loading Rate } PO_4 = (PO_4) \times \text{Voleme larutan wetland}$$

Berdasarkan nilai dari LR PO₄ (loading rate fosfat) maka dapat dihitung Loading fosfat untuk tanaman dengan rumus berikut:

$$(PO_4/\text{Tanaman} = LR (PO_4)/\# \text{ Tanaman}$$

Keterangan:

(PO₄) Tanaman : Biodegradable organik yang di remove pertanian dalam fosfat loading pertanian (mg/Tanaman)

LR (PO₄) : Loading Rate (beban paparan) Fosfat (mg)

Tanaman : Jumlah tanaman

Berdasarkan data hasil penelitian dan berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus di atas maka loading Fosfat pada tanaman typha dan Cyperus dengan menggunakan media arang dan media kerikil persatuan luas lahan dan pertanian di sajikan dalam bentuk Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Loading BOD Tanaman *Typha* dan *Cyperus* persatuan luas lahan dan pertanaman

Waktu (Hari ke-)	Loading Fosfat (mg/m ² /Tanaman)			
	Typha Arang	Typha Kerikil	Cyperus Arang	Cyperus Kerikil
0	2,69	2,69	2,69	2,69
5	1,92	2,21	1,88	2,50
9	1,49	0,80	1,53	1,79
12	1,45	0,65	1,07	0,92
18	1,26	0,23	0,88	0,75

Berdasarkan table di atas dapat diketahui loading fosfat pertanaman pada SSF-wetland pada waktu penelitian yakni untuk tanaman *Typha* dan tanaman *Cyperus* dengan volume limbah 20 mg/L dengan konsentrasi fosfat awal 12,909 mg/L pada hari ke-0 memiliki nilai loading fosfat sebesar 2,69 mg/m²/Tanaman. Untuk tanaman *Typha* media arang pada hari ke-5 dimana konsentrasi fosfat turun menjadi 9,198 mg/L nilai loading menjadi 1,92 mg/m²/Tanaman, pada hari ke-9 konsentrasi fosfat 7,150 mg/L nilai loading sebesar 1,49 mg/m²/Tanaman, pada hari ke-12 konsentrasi fosfat turun menjadi 6,960 mg/L nilai loading sebesar 1,45 mg/m²/Tanaman, begitu pula pada hari terakhir penelitian yakni hari ke-18 konsentrasi fosfat 6,025 mg/L nilai loading fosfat untuk tanaman yakni sebesar 1,28 mg/m²/Tanaman. Selanjutnya pada tanaman *Typha* dengan menggunakan media kerikil pada hari ke-5 konsentrasi fosfat 10,59mg/L nilai loading pertanaman sebesar 2,21 mg/m²/Tanaman, pada hari ke-9 konsentrasi fosfat 4,016 mg/L nilai loading sebesar 0,80mg/m²/Tanaman, hari ke-12 konsentrasi fosfat turun menjadi 3,128 mg/L dengan nilai loading sebesar 0,65 mg/m²/Tanaman dan pada akhir penelitian hari ke-18 konsentrasi fosfat 1,100 mg/L nilai loading sebesar 0,23 mg/m²/Tanaman.

Berdasarkan Tabel.2 di atas juga menunjukkan kemampuan akumulasi tanaman *Cyperus* pada media arang yakni pada hari ke-5 penelitian dimana konsentrasi fosfat turun menjadi 9,014 mg/L nilai loading fosfat tanaman sebesar 1,88 mg/ m²/Tanaman, selanjutnya pada hari ke-9 dengan konsentrasi fosfat 7,344 mg/L nilai loading sebesar 1,53 mg/m²/Tanaman, pada hari ke-12 konsentrasi fosfat 5,212 mg/L nilai loading sebesar 1,07 mg/m²/Tanaman dan pada hari ke-18 dengan konsentrasi fosfat 4,200 mg/L, nilai loading fosfat sebesar 0,88 mg/m²/Tanaman. Begitupula untuk tanaman *Cyperus* pada media kerikil, pada hari ke-5 penelitian konsentrasi fosfat turun menjadi 12,01 mg/L nilai loading fosfat sebesar 2,50 mg/m²/Tanaman, pada hari ke-9 dengan konsentrasi fosfat,600 mg/L nilai loadingnya sebesar 1,79 mg/m²/Tanaman, selanjutnya pada hari ke-12 konsentrasi fosfat 4,430 mg/L nilai loading sebesar 0,92 mg/m²/Tanaman dan pada akhir penelitian yakni hari ke-18 dengan konsentrasi fosfat 3,588 mg/L nilai loading fosfat sebesar 0,75 mg/m²/Tanaman. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Supradata (2005) tentang Pengolahan air limbah domestik menggunakan tanaman *Cyperus alternifolius* dari hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman tersebut memiliki kinerja yang baik dalam pengolahan air limbah rumah tangga. Pengolahan dan penyisihan limbah terjadi ketika air limbah melewati akar tanaman, kemudian air limbah akan diserap oleh akar tanaman dengan bantuan bakteri [7]. Menurut Starr et al (2009) proses penurunan kandungan fosfat dilakukan oleh tanaman terutama pada bagian akar. Tanaman dapat

menyerap unsur hara melalui akar atau melalui daun. Unsur fosfat diambil tanaman dalam bentuk ion *orthofosfat* primer dan sekunder (H₂PO₄⁻ atau HPO₄²⁻). Proporsi penyerapan kedua ion ini dipengaruhi pH area perakaran tanaman, dimana pada pH lebih rendah, tanaman lebih banyak menyerap ion *orthofosfat* primer, tetapi pada pH yang lebih tinggi ion *orthofosfat* sekunder yang lebih banyak diserap tanaman. Bentuk fosfat lain yang dapat diserap tanaman adalah *pirofosfat* dan *metafosfat*, dan fosfat organik hasil dekomposisi bahan organik seperti *fosfolipid*, *asam nukleat* dan *phytin*. Secara keseluruhan hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua tanaman baik *Typha* maupun *Cyperus* baik digunakan sebagai tanaman dalam metode fitoremediasi pada SSF-Wetland, sejalan dengan konsep fitoremediasi oleh Paulo J. C..et.al (2014) bahwa fitoremediasi merupakan suatu system Dimana tanaman tertentu yang bekerjasama dengan mikroorganisme dalam media dapat mengubah dan menyerap zat kontaminan [13]. Hal tersebut juga didukung oleh penelitian tentang efisiensi fito bio film yang menunjukkan bahwa Penurunan konsentrasi fosfat di dalam reaktor ini disebabkan karena adanya aktivitas mikroorganisme dan adanya penyerapan zat organik oleh tanaman yang membantu menurunkan konsentrasi fosfat dalam limbah [14]. Penurunan kandungan fosfat juga ditunjukkan oleh hasil penelitian menggunakan tanaman *Azolla microphylla* dan tanaman *Lemna minor*. Hasil analisis menunjukkan bahwa fitoremediasi oleh tumbuhan dapat menurunkan kadar fosfat pada limbah laundry. Penurunan kadar fosfat oleh spesies tumbuhan berturut-turut dari tinggi ke rendah yaitu *Azolla microphylla*, kombinasi *Lemna minor* dan *Azolla microphylla*, kemudian *L. minor* [15].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan untuk tanaman *Typha* media arang pada akhir penelitian dengan konsentrasi fosfat 6,025 mg/L nilai beban paparan (loading) fosfat untuk tanaman yakni sebesar 1,28 mg/m²/Tanaman. *Typha* dengan menggunakan media kerikil pada akhir penelitian konsentrasi fosfat 1,100 mg/L nilai loading sebesar 0,23 mg/m²/Tanaman. Tanaman *Cyperus* pada media arang pada akhir penelitian konsentrasi fosfat 4,200 mg/L, nilai loading fosfat sebesar 0,88 mg/m²/Tanaman. Tanaman *Cyperus* pada media kerikil akhir penelitian dengan konsentrasi fosfat 3,588 mg/L nilai loading fosfat sebesar 0,75 mg/m²/Tanaman. Berdasarkan semua hasil perhitungan diketahui beban konsentrasi Fosfat perluasan lahan pertanaman sebesar 2,69 mg/m²/tanaman

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian ini baik yang telah memberikan sumbangsih dalam bentuk tenaga, pemikiran maupun materi yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar. Perlu kajian lebih lanjut tentang cost-benefit analisis untuk dapat mengaplikasikan dalam skala rumah tangga maupun dalam skala lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dea Ghiovani and B. V. Tangahu, "Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Kayu apu (*Pistia stratiotes*)," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 7–11, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.25092.
- [2] Y. Zhang, "DigitalCommons @ USU Design of a Constructed Wetland for Wastewater Treatment and Reuse in Mount Pleasant , Utah," 2012.
- [3] R. Wimbaningrum, I. Arianti, and H. Sulistiyowati, "Efektivitas Tanaman Lembang (," no. 1, pp. 25–28, 2020.
- [4] N. HIDAYATI, "Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator," *HAYATI J. Biosci.*, vol. 12, no. 1, pp. 35–40, 2005, doi: 10.1016/S1978-3019(16)30321-7.
- [5] N. V Halverson, "Review of Constructed Subsurface Flow vs . Surface Flow Wetlands," no. September, 2004.
- [6] S. Qomariyah and Y. Muttaqien, "LAHAN BASAH BUATAN SEBAGAI PENGOLAH LIMBAH CAIR DAN PENYEDIA AIR NON-KONSUMSI," vol. 1, no. 1, pp. 25–32, 2017.
- [7] J. Evasari, *Pemanfaatan Lahan Basah Buatan dengan Menggunakan Tanaman Typha Latifolla untuk Mengelola Limbah Cair Domestik*. 2012.
- [8] E. N. Hidayah and W. Aditya, "POTENSI DAN PENGARUH TANAMAN PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DENGAN," vol. 2, no. 2, pp. 11–18.
- [9] W. H. Zachritz, A. T. Hanson, J. A. Saucedo, and K. M. Fitzsimmons, "Evaluation of submerged surface flow (SSF) constructed wetlands for recirculating tilapia production systems," *Aquac. Eng.*, vol. 39, no. 1, pp. 16–23, 2008, doi: 10.1016/j.aquaeng.2008.05.001.
- [10] A. F. Ramadhan, "EFISIENSI PENYISIHAN BOD DAN PHOSPAT PADA AIR LIMBAH PENCUCIAN PAKAIAN (LAUNDRY) DENGAN MENGGUNAKAN FITOREMEDIASI TANAMAN KAYU APU (*Pistia stratiotes* L.)," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 6, no. 3, pp. 1–11, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan>
- [11] Supradata, "Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands)," vol. 130001, pp. 1–111, 2005.
- [12] J. Vymazal, "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment," pp. 530–549, 2010, doi: 10.3390/w2030530.
- [13] M. S., M. Varun, R. DSouza, P. J.C., and J. Pratas, "Metal Contamination of Soils and Prospects of Phytoremediation in and Around River Yamuna: A Case Study from North-Central India," *Environ. Risk Assess. Soil Contam.*, no. May 2015, 2014, doi: 10.5772/57239.
- [14] E. Parwaningtyas, "Mahasiswa Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang Dosen Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang," 2012.
- [15] L. Silviana and F. Rachmadiarti, "Fitoremediasi Fosfat dari Detergen Sintetis dengan Menggunakan Lemna minor dan Azolla microphylla Phytoremediation of Phosphate from Synthetic Detergent Using Lemna minor and Azolla microphylla," vol. 12, pp. 281–289.