



Evaluasi Kehadiran Dan Pemanfaatan *Duckweed* dan Alga Pada Sistem Kolam Stabilisasi Pengolahan Air Limbah Domestik

Evaluation of the Presence and Utilization of Duckweed and Algae in the Domestic Wastewater Treatment Stabilization Pond System

Darwin Darwin¹, Anshah Silmi Afifah², Mega Mutiara Sari^{3*}, I Wayan Koko Suryawan³, Yosef Adicita¹

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Universal, Batam, 29444

² Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu, Kendal Regency, 51371

³ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina, Jakarta Selatan, 12220

*Corresponding Author: mega.ms@universitaspertamina.ac.id

Article Info:

Received: 30 - 06 - 2022
Accepted: 30 - 09 - 2022

Kata kunci: Kolam stabilisasi, air limbah, *duckweed*, alga, pakan, energi

Abstrak: Pengolahan air limbah domestik yang saat ini umum digunakan adalah kolam stabilisasi yang terdiri dari anaerob, fakultatif, dan aerobik. Di dalam prosesnya setelah melalui kolam stabilisasi dapat dapat ditampung melalui reservoir. Dalam proses pengolahan dengan proses kolam stabilisasi kehadiran gulma seperti *duckweed* dapat membran meningkatkan efisiensi penyisihan nutrient. Tujuand ari studi ini adalah untuk mengevaluasi kehadiran *duckweed* pada air limbah dan potensi pemanfaatannya di sistem kolam stabilisasi. Studi ini dilakukan dengan cara observasi lapangan dan studi literatur. Sistem kolam stabilisasi terdiri dari 3 sel: sel IA dan sel IB, sel IIA dan IIB, dan sel III. Sel I terdiri dari dua bagian yaitu sel IA dan sel IIB. *Duckweed* dalam sistem hanya tumbuh di kolam sel IB, sel IIA dan reservoir. Sesuai dengan karakteristiknya, alga memang sudah seharusnya tumbuh di sel IIA. Sel IIA adalah kolam fakultatif, yang memiliki daerah aerobik dan daerah anaerobik. Saat pagi dan sore hari alga tidak muncul ke permukaan dan air terlihat bening. Alga yang muncul di reservoir didominasi oleh alga kelas Chlorophyta karena memiliki warna hijau. *Duckweed* dapat digunakan sebagai pakan ternak seperti ikan, sapi, domba, kuda dan babi. Selain itu *duckweed* juga daapat dijadikan sumber energi dengan teknologi termokimia telah banyak digunakan untuk menghasilkan produk bio-minyak, arang dan gas.

Keywords: Stabilization pond, wastewater, *duckweed*, algae, feed, energy

Abstract: Domestic wastewater treatment which is currently commonly used is a stabilization pond consisting of anaerobic, facultative, and aerobic. In the process, after going through the stabilization pond, it can be accommodated through the reservoir. In the treatment process with the stabilization pond process the presence of weeds such as *duckweed* can help increase the efficiency of nutrient removal. The aim of this study was to evaluate the presence of *duckweed* in wastewater and its potential use in pond stabilization systems. This study was conducted by means of field observations and literature studies. The stabilization pool system consisted of 3 cells: cells IA and IB, cells IIA and IIB, and cells III. Cell I consists of two parts, namely cells IA and cells IIB. *Duckweed* in the system only grew in pools of IB cells, IIA cells and reservoirs. According to its characteristics, algae is supposed to grow in IIA cells. IIA cells are facultative ponds, which have an aerobic region and an anaerobic region. In the morning and evening the algae do not come to the surface and the water looks clear. Algae that appear in the reservoir are dominated by Chlorophyta class algae because they have a green color. *Duckweed* can be used as animal feed such as fish, cattle, sheep, horses and pigs. In addition, *duckweed* can also be used as an energy source with thermochemical technology which has been widely used to produce bio-oil, charcoal and gas products.

1. Pendahuluan

Kolam stabilisasi limbah (WSP) banyak digunakan untuk pengelolaan air limbah karena kesederhanaan desainnya, biaya rendah dan penggunaan operator berketerampilan rendah (Edokpayi et al., 2021). Kolam stabilisasi beroperasi dengan interaksi sinar matahari dengan alga dan bakteri, yang membantu membuat teknologi ini hemat biaya karena kebutuhan energi dipenuhi melalui proses alami (Mahapatra et al., 2022). Alga dapat digunakan lebih lanjut untuk membuat biofuel, pakan ternak, minyak nabati, berfungsi sebagai sumber energi, dan lain lain (Afifah et al., 2020; Mappanganro et al., 2019; Sofiyah et al., 2021). Pengolahan melalui kolam tidak hanya membantu dalam pengolahan air limbah yang berkelanjutan dan efisien tetapi juga membantu dalam produksi energi yang bersih dan terbarukan. Emisi gas rumah kaca lebih sedikit dibandingkan dengan metode pengolahan konvensional lainnya. Kolam stabilisasi umumnya dibangun di daerah yang lahannya mudah didapat dan digunakan untuk pengolahan awal air limbah industri yang kuat atau pengolahan tersier air limbah domestik, seperti di Nusa Dua (Darwin et al., 2021; Pratiwi et al., 2019),

Kolam Stabilisasi merupakan proses biologis dan penurunan kadar kontaminan dalam air limbah termasuk organik, nutrisi, logam berat, dan kontaminan lainnya dengan mekanisme simbiosis alga-bakteri (Cheng et al., 2020; Muñoz & Guieysse, 2006). Kolam stabilisasi dapat diaplikasikan diberbagai jenis limbah yang ada dalam air limbah domestik maupun industri seperti limbah pertanian; limbah industri kimia limbah industri makanan; limbah kota dan lain lain (Samal & Trivedi, 2020; Sofiyah et al., 2021; Sutherland et al., 2017).

Sampah organik non-biodegradable atau padat mengendap di dasar kolam stabilisasi sebagai lumpur (Mahapatra et al., 2022). Pada malam hari tanpa adanya oksigen, bakteri anaerob mengubah sampah anorganik yang tidak larut menjadi sampah organik yang larut seperti etanol dan selanjutnya sampah organik diurai oleh bakteri anaerob menjadi gas ammonia, metan, karbon dioksida, ataupun *hydrogen sulfida* (Guedes-Alonso et al., 2020; Sandau et al., 1996). Lumpur yang mengendap di dasar kolam dapat dihilangkan dengan metode pengerukan. Biomassa alga dan bakteri dapat dipisahkan baik dengan metode filtrasi atau kombinasi perlakuan kimia dan proses pengendapan. Alga yang tersisa di limbah kolam dapat dihilangkan dengan penyaringan atau dengan kombinasi perlakuan kimia dan pengendapan (Abdel-Raouf et al., 2012).

Aplikasi teknologi pengolahan biologis untuk pengolahan air limbah seperti kolam stabilisasi berbasis alga dan *duckweed* menjadi populer di negara berkembang karena keterjangkauan dan efisiensi penghilangan patogen di iklim hangat (Darwin et al., 2019; Fourounjian et al., 2020; Jana et al., 2018). Mekanisme penghilangan patogen dari kolam stabilisasi ini masih belum dipahami dengan jelas.

Alga juga tampaknya memiliki efek merusak pada koliform feses bahkan dalam kegelapan, sebuah fenomena yang mungkin merupakan efek zat beracun dari ganggang. Hasil juga menunjukkan bahwa peran invertebrata, khususnya makroinvertebrata mungkin lebih penting dalam sistem kolam *duckweed*. *Duckweed*, tanaman air dari famili *Araceae* dan subfamili *Lemnoidae*, hadir di seluruh dunia dan berpotensi membantu memecahkan masalah di air limbah. Tumbuhan ini dapat tumbuh dan mentolerir kisaran pH yang luas dari 3 hingga 7,5, suhu antara 6 °C dan 33 °C, dan memiliki waktu penggandaan 2 hingga 4 hari dalam kondisi pertumbuhan yang optimal (Culley Jr. et al., 1981; Skillicorn et al., 1993). Selain itu, daya apungnya membuatnya mudah untuk dipanen, membuat hiperakumulator ini menarik untuk memulihkan nutrisi dari air yang diolah.

Duckweed juga dipelajari dan dievaluasi selama bertahun-tahun untuk menentukan kinerjanya dalam aplikasi yang berbeda, seperti pengolahan air limbah kota dan industri dan air limbah hewan. Sebagai contoh, *Lemna minor* yang tumbuh dalam sistem pengolahan air limbah domestik menunjukkan serapan nutrient seperti N dan P (Priutama et al., 2022; Reddy & Debusk, 1987). Kehadiran nutrient tentunya tidak memberi keuntungan di dalam air karena dapat menimbulkan dampak eutropikasi (Prajati et al., 2021; Septiariva & Suryawan, 2021; I. Suryawan et al., 2021).

Keuntungan menggunakan *duckweed* untuk fitoremediasi air limbah industri adalah kandungan biomassa yang tinggi yang dapat dimanfaatkan sebagai nilai sumber nutrisi untuk unggas dan hewan budidaya serta untuk produksi biofuel (Hemalatha & Venkata Mohan, 2022; Liu et al., 2021). Selain itu, zona mati di dasar reaktor *duckweed* memfasilitasi pertumbuhan alga yang tidak diinginkan pada waktu

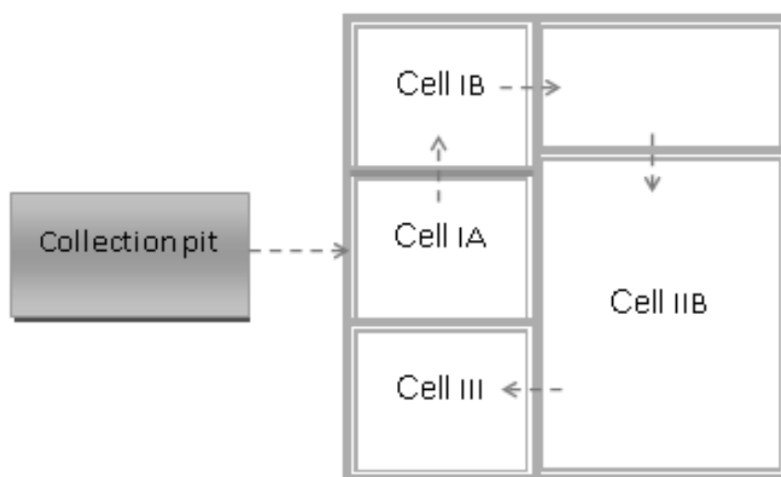
retensi yang lama yang dilepaskan dalam limbah yang diolah sehingga menghasilkan padatan tersuspensi yang tinggi dan membutuhkan proses pemurnian lebih lanjut (Peng et al., 2007) . Pertumbuhan *duckweed* pada instalasi pengolahan air limbah perlu dievaluasi untuk langkah inovatif dan mendapatkan nilai ekonomi. Evaluasi dilakukan pada salah satu instalasi pengolahan air limbah yang menggunakan sistem kolam stabilisasi.

2. Metode

Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui sistem pengolahan air limbah yang dilakukan di lokasi penelitian. Lokasi penelitian Metode ini berguna untuk mengumpulkan wawasan yang lebih andal. Dengan kata lain, peneliti dapat menangkap data tentang apa yang dilakukan partisipan sebagai lawan dari apa yang mereka katakan. Studi literatur juga dilakukan untuk membandingkan kondisi eksisting dengan kondisi ideal dalam pemanfaatan *duckweed* dan alga.

3. Hasil dan Pembahasan

Sistem pengolahan yang diterapkan adalah Kolam Stabilisasi Limbah. Gambar 1 menunjukkan skema kolam stabilisasi, terdiri dari 3 sel: sel IA dan sel IB, sel IIA dan IIB, dan sel III. Sel I terdiri dari dua bagian yaitu sel IA dan sel IIB, dipisahkan oleh lapisan fiberglass di bagian atas, yang berfungsi sebagai perangkap minyak. Oli dan kotoran lainnya yang mengapung akan dibersihkan oleh petugas secara manual. Setelah melewati sel I, air akan mengalir ke sel IIA. Sel II terdiri dari dua bagian yaitu sel IIA dan sel IIB. Terjadi proses oksidasi pada sel IIA dan IIB serta pembentukan padatan tersuspensi akibat metabolisme alga heterotrofik dan bakteri. Sel IIB memiliki luas yang lebih besar dari sel IIA sehingga proses oksidasi akan lebih optimal. Ikan nila ditempatkan pada sel IIA dan IIB sebagai indikator biologis. Sel III berfungsi untuk menetralkan air limbah sebelum didistribusikan ke DAF. Waktu tinggal di kolam stabilisasi ini adalah 33 hari, dengan persyaratan waktu tinggal minimal 28 hari.



Gambar 1. Proses pengolahan kolam stabilisasi di lokasi studi (Darwin et al., 2021)

Berdasarkan pengamatan dan hasil wawancara, alga hanya tumbuh di kolam sel IB, dan sel IIA. Sesuai dengan karakteristiknya, alga memang sudah seharusnya tumbuh di sel IIA. Sel IIA adalah kolam fakultatif, yang memiliki daerah aerobik dan daerah anaerobik. Daerah aerobik merupakan daerah yang memiliki banyak kandungan oksigen. Kandungan oksigen dihasilkan oleh proses fotosintesis yang dilakukan oleh alga (Grötzschel & Beer, 2002; Kayombo et al., 2000). Oleh karena itu, pengamatan terhadap alga pada sel IIA tidak dilakukan.



Gambar 2. Kondisi Permukaan Air di Sel IB

Pada sel IB, terlihat banyaknya tanaman berwarna hijau yang mengapung di permukaan air, yang selama ini dianggap sebagai alga. Pada tepi kolam sel IB, permukaan airnya ditutupi oleh tanaman yang disebut *duckweed*. *Duckweed* adalah tanaman yang berukuran kecil, mengapung, dan berwarna hijau. *Duckweed* masuk ke dalam famili *Lemnaceae* yang merupakan tanaman air. Tanaman ini menyebabkan kondisi kolam berada pada keadaan anaerobik karena mengonsumsi banyak oksigen terlarut. *Duckweed* sangat efektif untuk menyerap karbon, nitrogen, fosfor, dan bakteri patogen. Namun, *duckweed* tidak melakukan proses metabolisme yang menggunakan dan memroses zat-zat tersebut, melainkan hanya menahannya. Ketika *duckweed* mati maka zat-zat yang telah tertahan akan kembali terlepas ke air limbah (Pocock & Joubert, 2013). Oleh karena itu, *duckweed* harus dibersihkan sebelum mati untuk menghilangkan zat-zat yang telah tertahan pada *duckweed*. Letak *duckweed* yang berada di tepi kolam juga turut memudahkan petugas untuk membersihkan *duckweed*.



Gambar 3. Alga yang tumbuh di Reservoir

Gambar 3 menunjukkan alga yang tumbuh pada reservoir. Alga yang tumbuh berwarna hijau dan hanya muncul ketika siang hari. Saat pagi dan sore hari alga tidak muncul ke permukaan dan air terlihat bening. Alga yang muncul di reservoir didominasi oleh alga kelas *Chlorophyta* karena memiliki warna hijau. Berdasarkan hasil wawancara dengan petugas di sekitar, diketahui bahwa pada kolam reservoir juga terdapat ikan yang tanpa disengaja muncul di kolam. Berdasarkan pengamatan secara visual, organisme berwarna hijau yang tumbuh di kolam reservoir menyerupai alga hijau (*Chlorophyta*) yang tidak beracun bagi makhluk hidup dan bakteri. Kedua adalah *Cyanobacteria*, yang bersifat beracun bagi makhluk hidup. *Chlorophyta* dan bakteri *Cyanobacteria* memiliki tampilan fisik yang mirip sehingga sulit dibedakan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Pratiwi et al., 2019) di kolam reservoir ITDC, jenis alga hijau yang paling banyak ditemui adalah spesies *Sphaerocystis Schroeteri*. Spesies ini biasanya digunakan sebagai pakan ikan, dan menandakan bahwa yang tumbuh di reservoir adalah alga.

Alga yang masuk ke reservoir berasal dari kolam stabilisasi. Alga dapat dicegah dan diminimalisir dengan cara memposisikan pipa outlet pada kolam stabilisasi. Pipa outlet kolam fakultatif (sel II) harus diposisikan pada kedalaman tertentu untuk menghindari perpindahan alga dari kolam fakultatif menuju kolam selanjutnya. Alternatif lain yang dapat dilakukan adalah dengan memasang *weir* (perangkap) sebelum pipa outlet untuk memerangkap dan mencegah alga masuk ke dalam pipa outlet (Mara, 1998).

Salah satu faktor yang mendukung pertumbuhan alga adalah ketersediaan cahaya matahari. Jumlah alga dapat dikurangi secara signifikan dengan cara membuat suatu zona yang gelap sehingga menghambat pertumbuhan alga (X.-C. Chen et al., 2009). Metode ini disebut dengan *light shading*. (X.-C. Chen et al., 2009) melakukan penelitian pada sebuah danau di China. Penelitian dilakukan dengan danau menjadi tiga bagian. Pada bagian pertama dan kedua, permukaan air ditutupi dengan kain berwarna hitam dengan rasio *light-shading* sebesar 99%. Sedangkan pada bagian ketiga, digunakan sebagai variabel kontrol. Suhu air saat penelitian adalah 31°, tidak berbeda jauh dengan suhu di 30°C.

Penelitian menggunakan *light shading* dapat mengurangi jumlah biomassa alga sebesar 80%. Konsentrasi nilai organik COD juga dapat dikurangi hingga sebesar 94,5% dari 30,9 mg/L menjadi 1,7 mg/L. Namun, metode *light shading* yang menghambat proses fotosintesis oleh alga dapat mengakibatkan terjadinya kekurangan oksigen terlarut dan penurunan pH. Oleh karena itu, diperlukan adanya aerasi untuk menutupi kekurangan oksigen terlarut.

Hambatan dari metode *light-shading* adalah membutuhkan kain yang cukup besar untuk menutup kolam yang luasnya besar. Oleh karena itu, usaha untuk mengurangi alga menggunakan metode *light-shading* dapat dilakukan dengan cara menutup permukaan air reservoir pertama dengan kain gelap berwarna hitam dengan rasio *light shading* sebesar 99%. Air akan didiamkan selama beberapa hari di kolam reservoir pertama. Kemudian air akan dialirkan menuju kolam reservoir selanjutnya. Alga yang telah mati akan memenuhi lapisan air di kolam reservoir pertama. Sebagian alga yang telah mati akan mengambang di permukaan air, dan dapat dikumpulkan dengan memasang *weir* (penahan) di bagian atas permukaan air pada kolam reservoir pertama. Sebagian alga yang mati akan melayang di air dan dapat dikumpulkan dengan cara memasang jaring-jaring pada pipa outlet kolam reservoir pertama.

Dibandingkan dengan alga, ukuran *duckweed* yang relatif besar membuatnya mudah untuk dipisahkan. Ini memiliki kemampuan beradaptasi yang kuat dengan lingkungan sekitarnya. *Duckweed* telah umum digunakan sebagai pakan ternak seperti ikan, sapi, domba, kuda dan babi (G. Chen et al., 2022; Goopy & Murray, 2003; Soñta et al., 2019). *Duckweed* juga memiliki kandungan protein yang tinggi (sekitar 45% berat kering), terutama asam amino esensial (EAA) yang tinggi, sedangkan kandungan serat kasar hanya sebesar 5-15% (Verma & Suthar, 2015), menunjukkan bahwa itu cocok sebagai sumber protein berkualitas tinggi. untuk menggantikan bungkil kedelai atau pakan lain dalam makanan hewani. Melalui modifikasi genom *duckweed*, tanaman transgenik memiliki prospek aplikasi yang menjanjikan di bidang protein rekombinan, pemurnian limbah, genetika molekuler dan sebagainya (An et al., 2019).

Lebih penting lagi, *duckweed* menyimpan sinar matahari dan CO₂ dalam bentuk energi kimia dan mengandung protein kasar tinggi, asam amino, pati, flavon dengan kandungan serat rendah (Afifah et al., 2020; Sofiyah et al., 2021; I. E. K. Suryawan & Sofiyah, 2020; Zhao et al., 2014). Komposisi biokimia dari *duckweed* sepenuhnya menunjukkan potensi besar untuk pemulihan energi termokimia. Oleh karena itu, *duckweed* merupakan bahan baku bioenergi yang menjanjikan dan dapat diubah menjadi

berbagai bentuk energi melalui teknologi pengolahan yang tepat. Teknologi termokimia telah banyak digunakan untuk menghasilkan produk bio-minyak, arang dan gas dari biomassa. Kerugian dari metode termokimia adalah perlunya tambahan input energi ke sistem. Pirolisis adalah proses yang terjadi dalam kondisi anaerobik atau anoksik untuk memecah bahan organik menjadi gas, produk cair (bio-oil) dan produk padat. Pencairan hidrotermal adalah metode termokimia yang cocok untuk memproses bahan baku dengan kelembapan tinggi untuk menghasilkan minyak nabati (G. Chen et al., 2022). Peluang pemulihan energi ini dapat menjadi salah satu upaya energi bersih dan berkeanjutan dalam mendukung capaian tujuan pembangunan berkelanjutan (Gasim et al., 2022; Raksasat et al., 2021; Sari et al., 2023; I. W. K. Suryawan et al., 2022).

4. Kesimpulan

Duckweed dalam sistem hanya tumbuh di kolam sel IB, sel IIA dan reservoir. Sesuai dengan karakteristiknya, alga memang sudah seharusnya tumbuh di sel IIA. Sel IIA adalah kolam fakultatif, yang memiliki daerah aerobik dan daerah anaerobik. *Duckweed* dapat digunakan sebagai pakan ternak seperti ikan, sapi, domba, kuda dan babi. Selain itu *duckweed* juga dapat yang dijadikan sumber energi dengan teknologi termokimia yang telah banyak digunakan untuk menghasilkan produk bio-minyak, arang dan gas.

Daftar Pustaka

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. B. M. 2012. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257–275. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005>
- Afifah, A. S., Suryawan, I. W. K., & Sarwono, A. 2020. Microalgae production using photo-bioreactor with intermittent aeration for municipal wastewater substrate and nutrient removal. *Communications in Science and Technology*, 5(2), 107–111. <https://doi.org/10.21924/cst.5.2.2020.200>
- An, D., Zhou, Y., Li, C., Xiao, Q., Wang, T., Zhang, Y., Wu, Y., Li, Y., Chao, D.-Y., Messing, J., & Wang, W. 2019. Plant evolution and environmental adaptation unveiled by long-read whole-genome sequencing of *Spirodela*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116, 201910401. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910401116>
- Chen, G., Zhao, K., Li, W., Yan, B., Yu, Y., Li, J., Zhang, Y., Xia, S., Cheng, Z., Lin, F., Li, L., Zhao, H., & Fang, Y. 2022. A review on bioenergy production from duckweed. *Biomass and Bioenergy*, 161, 106468. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106468>
- Chen, X.-C., Kong, H.-N., He, S.-B., Wu, D.-Y., Li, C.-J., & Huang, X.-C. 2009. Reducing harmful algae in raw water by light-shading. *Process Biochemistry*, 44(3), 357–360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procbio.2008.11.002>
- Cheng, X., Delanka-Pedige, H. M. K., Munasinghe-Arachchige, S. P., Abeywardana-Arachchige, I. S. A., Smith, G. B., Nirmalakhandan, N., & Zhang, Y. 2020. Removal of antibiotic resistance genes in an algal-based wastewater treatment system employing *Galdieria sulphuraria*: A comparative study. *Science of The Total Environment*, 711, 134435. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134435>
- Culley Jr., D. D., Rejmánková, E., Květ, J., & Frye, J. B. 1981. PRODUCTION, CHEMICAL QUALITY AND USE OF DUCKWEEDS (LEMNACEAE) IN AQUACULTURE, WASTE MANAGEMENT, AND ANIMAL FEEDS. *Journal of the World Mariculture Society*, 12(2), 27–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1981.tb00273.x>
- Darwin, D., Prajati, G., Adicita, Y., Suryawan, I. W. K., & Sarwono, A. 2021. EVALUATION OF WASTEWATER TREATMENT IN NUSA DUA TOURISM AREA AND THEIR CHALLENGES TO ALGAE BLOOM. *ASTONJADRO: CEAESJ*, 10(2), 346–351.
- Darwin, Koko Suryawan, I. W., & Prajati, G. 2019. Evaluation of Waste Stabilization Pond (WSP) Performance in Bali Tourism Area. *2019 2nd International Conference on Applied Engineering (ICAE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICAE47758.2019.9221708>

- Edokpayi, J. N., Odiyo, J. O., Popoola, O. E., & Msagati, T. A. M. 2021. Evaluation of contaminants removal by waste stabilization ponds: A case study of Siloam WSPs in Vhembe District, South Africa. *Heliyon*, 7(2), e06207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06207>
- Fourounjian, P., Fakhoorian, T., & Cao, X. H. 2020. *Importance of Duckweeds in Basic Research and Their Industrial Applications BT - The Duckweed Genomes* (X. H. Cao, P. Fourounjian, & W. Wang (eds.); pp. 1–17). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11045-1_1
- Gasim, M. F., Choong, Z.-Y., Koo, P.-L., Low, S.-C., Abdurahman, M.-H., Ho, Y.-C., Mohamad, M., Suryawan, I. W., Lim, J.-W., & Oh, W.-D. 2022. Application of Biochar as Functional Material for Remediation of Organic Pollutants in Water: An Overview. In *Catalysts* (Vol. 12, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/catal12020210>
- Goopy, J., & Murray, P. 2003. A Review on the Role of Duckweed in Nutrient Reclamation and as a Source of Animal Feed. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 16. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.297>
- Grötzschel, S., & Beer, D. 2002. Effect of Oxygen Concentration on Photosynthesis and Respiration in Two Hypersaline Microbial Mats. *Microbial Ecology*, 44(3), 208–216. <https://doi.org/10.1007/s00248-002-2011-2>
- Guedes-Alonso, R., Montesdeoca-Esponda, S., Herrera-Melián, J. A., Rodríguez-Rodríguez, R., Ojeda-González, Z., Landívar-Andrade, V., Sosa-Ferrera, Z., & Santana-Rodríguez, J. J. 2020. Pharmaceutical and personal care product residues in a macrophyte pond-constructed wetland treating wastewater from a university campus: Presence, removal and ecological risk assessment. *The Science of the Total Environment*, 703, 135596. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135596>
- Hemalatha, M., & Venkata Mohan, S. 2022. Duckweed biorefinery – Potential to remediate dairy wastewater in integration with microbial protein production. *Bioresource Technology*, 346, 126499. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126499>
- Jana, B. B., Heeb, J., & Das, S. 2018. *Ecosystem Resilient Driven Remediation for Safe and Sustainable Reuse of Municipal Wastewater BT - Wastewater Management Through Aquaculture* (B. B. Jana, R. N. Mandal, & P. Jayasankar (eds.); pp. 163–183). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7248-2_8
- Kayombo, S., Mbvette, T. S. A., Mayo, A. W., Katima, J. H. Y., & Jorgensen, S. E. 2000. Modelling diurnal variation of dissolved oxygen in waste stabilization ponds. *Ecological Modelling*, 127(1), 21–31. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(99\)00196-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3800(99)00196-9)
- Liu, Y., Xu, H., Yu, C., & Zhou, G. 2021. Multifaceted roles of duckweed in aquatic phytoremediation and bioproducts synthesis. *GCB Bioenergy*, 13(1), 70–82. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcbb.12747>
- Mahapatra, S., Samal, K., & Dash, R. R. 2022. Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: A review on factors, modelling and cost analysis. *Journal of Environmental Management*, 308, 114668. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114668>
- Mappanganro, R., Paly, M. B., Kiramang, K., & Nurhidayat, R. 2019. Pengaruh Pemberian Alga Coklat (*Sargassum* sp.) Terhadap Pertambahan Berat Badan Sapi Bali Jantan. *Jurnal Ilmu Dan Industri Peternakan*, 4(2 SE-Table of contents), 139–148. <https://doi.org/10.24252/jiip.v4i2.9858>
- Mara, D. 1998. Design manual for waste stabilization ponds in Mediterranean countries.
- Muñoz, R., & Guieysse, B. 2006. Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water Research*, 40(15), 2799–2815. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.06.011>
- Peng, J., Wang, B., Song, Y., & Yuan, P. 2007. Modeling N transformation and removal in a duckweed pond: Model application. *Ecological Modelling*, 206(3), 294–300. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.037>
- Pocock, G., & Joubert, H. 2013. *Optimisation of Waste Stabilisation Ponds by Combining Duckweed-Based and Algal-Based Systems* (Issue 2005).
- Prajati, G., Afifah, A. S., & Apritama, M. R. 2021. $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD reduction in endek (Balinese textile) wastewater by activated sludge under different DO condition with ozone pretreatment. *Walailak*

Journal of Science and Technology, 18(6), 1–11. <https://doi.org/10.48048/wjst.2021.9127>

- Pratiwi, D. M., Budiman, A., Supraba, I., & Suyono, E. A. 2019. Comparison of the Effectiveness of Microalgae Harvesting with Filtration and Flocculation Methods in WWTP ITDC Bali. *International Journal of Environmental and Science Education*, 14(1), 1–12.
- Priutama, Y. E., Sarwono, A., & Suryawan, I. W. K. 2022. EVALUASI KARAKTERISTIK AIR LIMBAH HASIL PENGOLAHAN WASTE STABILAZION POND DI KOTA JAKARTA. *Teras Jurna*, 12(1), 205–214.
- Raksasat, R., Kiatkittipong, K., Kiatkittipong, W., Wong, C. Y., Lam, M. K., Ho, Y. C., Oh, W. Da, Suryawan, I. W. K., & Lim, J. W. 2021. Blended sewage sludge–palm kernel expeller to enhance the palatability of black soldier fly larvae for biodiesel production. *Processes*, 9(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/pr9020297>
- Reddy, K. R., & Debusk, T. A. 1987. State-of-the-Art Utilization of Aquatic Plants in Water Pollution Control. *Water Science and Technology*, 19, 61–79.
- Samal, K., & Trivedi, S. (2020). A statistical and kinetic approach to develop a Floating Bed for the treatment of wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104102>
- Sandau, E., Sandau, P., & Pulz, O. 1996. Heavy metal sorption by microalgae. *Acta Biotechnologica*, 16(4), 227–235. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/abio.370160402>
- Sari, M. M., Septiariva, I. Y., Fauziah, E. N., Ummatin, K. K., Arifianti, Q. A. M. O., Faria, N., Lim, J.-W., & Suryawan, I. W. K. 2023. Prediction of recovery energy from ultimate analysis of waste generation in Depok City, Indonesia. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i1.pp1-8>
- Septiariva, I. Y., & Suryawan, I. W. K. 2021. Development of water quality index (WQI) and hydrogen sulfide (H₂S) for assessment around suwung landfill, Bali Island. *Journal of Sustainability Science and Management*, 16(4), 137–148.
- Skillicorn, P., Spira, W., & Journey, W. 1993. Duckweed aquaculture: a new aquatic farming system for developing countries. In *Duckweed aquaculture: a new aquatic farming system for developing countries*.
- Sofiyah, E. S., Ariyanti, S., Septiariva, I. Y., & Suryawan, I. W. K. 2021. The Opportunity of Developing Microalgae Cultivation Techniques in Indonesia. *Berita Biologi*, 20(2), 221–233.
- Sońta, M., Rekiel, A., & Batorska, M. 2019. Use of Duckweed in Sustainable Livestock Production and Aquaculture – A Review. *Annals of Animal Science*, 19(2), 257–271. <https://doi.org/doi:10.2478/aoas-2018-0048>
- Suryawan, I. E. K., & Sofiyah, E. S. 2020. Cultivation of *Chlorella* sp . and Algae Mix for NH₃ -N and. *Civil and Environmental Science*, III(01), 31–36.
- Suryawan, I., Septiariva, I. Y., Helmy, Q., Notodarmojo, S., Wulandari, M., Sari, N. K., Sarwono, A., & Jun-Wei, L. 2021. Comparison of Ozone Pre-Treatment and Post-Treatment Hybrid with Moving Bed Biofilm Reactor in Removal of Remazol Black 5. *International Journal of Technology*, 12(2).
- Suryawan, I. W. K., Septiariva, I. Y., Fauziah, E. N., Ramadan, B. S., Qonitan, F. D., Zahra, N. L., Sarwono, A., Sari, M. M., Ummatin, K. K., & Wei, L. J. 2022. Municipal Solid Waste to Energy : Palletization of Paper and Garden Waste into Refuse Derived Fuel. *Journal of Ecological Engineering*, 23(4), 64–74.
- Sutherland, D. L., Turnbull, M. H., & Craggs, R. J. 2017. Environmental drivers that influence microalgal species in fullscale wastewater treatment high rate algal ponds. *Water Research*, 124, 504–512. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.012>
- Verma, R., & Suthar, S. 2015. Utility of Duckweeds as Source of Biomass Energy: a Review. *BioEnergy Research*, 8(4), 1589–1597. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9639-5>
- Zhao, Y., Fang, Y., Jin, Y., Huang, J., Bao, S., Fu, T., He, Z., Wang, F., & Zhao, H. 2014. Potential of duckweed in the conversion of wastewater nutrients to valuable biomass: A pilot-scale comparison with water hyacinth. *Bioresource Technology*, 163, 82–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.018>