

PEMANFAATAN *DUCKWEED*/RUMPUT BEBEK UNTUK KONSERVASI AIR TAWAR DALAM SISTEM PERIKANAN (Terjemahan)

Wiwin Nurzanah

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara 20238

Email : wiwinnurzanah@umsu.ac.id

Artikel Info

Artikel Historis :

Terima 12 Oktober 2022

Terima dan di revisi 15 Oktober 2022

Disetujui 18 Oktober 2022

Kata Kunci :

Rumput bebek, Amonia, CBO; Pengolahan air limbah, Sistem akuakultur resirkulasi (*RAS*)



This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International licens

Abstrak

Tulisan ini bertujuan untuk menyajikan aspek-aspek kunci dari penggunaan *Duckweed* / rumput bebek dalam aplikasi industri dan konsep untuk menggunakan bio filter rumput bebek dalam sistem akuakultur. Rumput bebek adalah tanaman yang beradaptasi dengan sistem perairan dan dianggap sebagai salah satu tanaman terkecil di dunia, dengan diameter 1-15 mm. Meskipun merupakan tanaman kecil, sifat-sifatnya membuatnya cocok untuk keperluan industri (produksi bahan bakar nabati, aquaponik, sumber makanan, pengolahan air limbah). Beberapa aspek pengelolaan tanaman rumput bebek disebutkan dalam tulisan ini. Telah terbukti bahwa spesies rumput bebek tertentu berhasil menurunkan *Chemical Oxygen Demand* (COD), Kebutuhan *Biological Oxygen Demand* (BOD), nitrogen total (TN), fosfor total (TP) dan ortofosfat (OP). Penulis mengusulkan teknologi pengolahan air limbah baru dengan tangki rumput bebek untuk sistem budidaya resirkulasi.

Keywords :

Duckweed, Ammonia, CBO, Wastewater treatment, Recirculated aquaculture systems (RAS)

Abstract

The paper aims at presenting key aspects of the use of duckweed in the industry applications and a concept for using duckweed bio filters in aquaculture systems. Duckweed is a plant adapted to aquatic systems and considered to be one of the smallest plants in the world, with a diameter of 1-15mm. Although it is a small plant, its properties make it suitable for industrial use (production of bio fuel, aquaponic, food source, waste water treatment). Several aspects of the duckweed crop management are mentioned in the paper. It has been shown that certain duckweed species can successfully lower the Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and orthophosphate (OP). The authors propose a new waste water treatment technology with duckweed tanks for recirculated aquaculture systems.

PENDAHULUAN

Deskripsi rumput bebek

Rumput bebek (juga dikenal sebagai *Water lens* dan *Bayroot*) adalah tanaman air yang mengapung di permukaan air yang bergerak lambat atau air yang tenang (baik air tawar

maupun lahan basah). Rumput bebek adalah sebagai "bayroot", mereka muncul dari dalam keluarga aroid (*Araceae*) [1] dan diklasifikasikan sebagai subfamili *Lemnoideae*. Sebelum akhir abad XX, rumput bebek diklasifikasikan sebagai keluarga yang

terpisah, *Lemnaceae*. Tumbuhan air ini sangat sederhana, tanpa batang atau daun yang jelas. Bagian terbesar dari setiap tanaman adalah struktur kecil yang terorganisir "*thallus*" atau "pelepah". Hanya beberapa sel kasar, seringkali dengan kantong udara memungkinkan mereka mengapung di permukaan air. Setiap tumbuhan, tergantung spesiesnya, dapat berakar satu atau lebih akar sederhana [2]. Reproduksi sebagian besar aseksual dan terjadi dari meristem tertutup di dasar cabang. Kadang-kadang, tiga "bunga" kecil yang terdiri dari putik dan dua benang sari, yang dengannya ia muncul sebagai reproduksi seksual. "Bunga" ini, sebagai *pseudanthium*, perbungaan berkurang, dengan tiga bunga, yang jelas betina atau jantan. Mereka berasal dari *spadix* di *Araceae* [3]. Evolusi perbungaan rumput bebek tetap ambigu karena pengurangan evolusioner yang cukup besar dari tanaman ini. Rumput bebek genus *Wolffia* adalah bunga terkecil yang diketahui berukuran panjang sekitar 0,3 mm [4]. Buah-buahan yang dihasilkan dengan reproduksi sesekali adalah *utrikulus*, dan biji diproduksi dalam kantong dengan udara yang memfasilitasi *flotasi*. Beberapa dari sekitar 70

spesies rumput bebek yang ada di seluruh dunia disajikan pada Gambar berikut.



Wolffia arrhizal [11]

Wolffia sp. [12]

Landoltia punctata [13]

Gambar 1. Spesies yang bervariasi umumnya didefinisikan sebagai rumput bebek

Rumput bebek yang beradaptasi dengan habitat perairan adalah salah satu tanaman berbunga terkecil dan paling sederhana, monokotil terapung, dengan ukuran antara 1-15 mm. Akar tumbuh hingga 15 cm, ujungnya sebagian besar bulat, dan pelepah tidak bersayap.

Jaringan rumput bebek mengandung dua kali protein, lemak, nitrogen, dan fosfor dari tanaman vaskular lainnya karena sebagian besar terdiri dari sel-sel yang aktif secara metabolik dengan serat struktural yang sangat sedikit. Nutrisi diserap dari setiap daun, tidak melalui sistem akar pusat. Seluruh tanaman langsung mengasimilasi molekul organik seperti karbohidrat sederhana dan berbagai asam amino. Sebagian besar fotosintesis dikhususkan untuk produksi protein dan asam nukleat, seluruh tubuh rumput bebek terdiri dari jaringan non-struktural yang aktif secara metabolik, menjadikannya nilai gizi yang sangat tinggi.

Pemanfaatan rumput bebek

Tanaman rumput bebek dapat dimanfaatkan dengan beberapa cara, karena dapat sekaligus membersihkan air limbah, menghasilkan pakan ternak dan digunakan sebagai bahan bakar nabati [14-23].

a. Pemanfaatan rumput bebek dalam Akuaponik.



Azolla caroliniana [5]



Marsilea quadrifolia [6]



Lemna minor [7]



Lemna trisulca [8]



Salvinia natans [9]



Spirodela polyrhiza [10]

Keuntungan utama menggunakan rumput bebek dalam akuaponik [24, 25] adalah:

- Beberapa ikan akan memakan rumput bebek, dan akan mengisi ulang lebih cepat daripada yang bisa dimakan ikan;
- Biomassa rumput bebek kering mengandung hingga 40% protein, yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut dalam aplikasi pakan.
- Rumput bebek menghilangkan sejumlah besar nitrogen dan fosfor dari air.

Kerugian utama menggunakan rumput bebek dalam aquaponik meliputi:

- Rumput bebek sekitar (86 - 97)% air [26] sehingga kandungan protein biomassa basah rendah dan bisa mencapai 2%;
- Konsentrasi tinggi RNA dan raphids hadir dalam duckweed serta akumulasi bahan kimia beracun dalam biomassa duckweed mungkin menjadi masalah dalam beberapa formulasi pakan;
- rumput bebek tumbuh lebih cepat daripada yang bisa dimakan ikan; biomassa dapat keluar dari tangki dan dapat menyumbat pipa dan pompa.

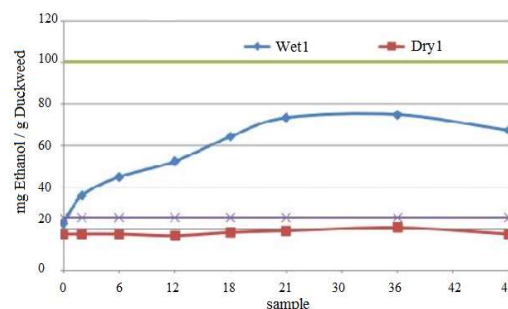
b. Pemanfaatan rumput bebek sebagai makanan.

Kandungan protein rumput bebek per biomassa kering rumput bebek berkisar antara 25% dan 45% dan dalam kondisi pertumbuhan yang baik biomassa berlipat ganda setiap 36 jam. Terutama ikan nila (*Oreochromis niloticus*) senang memakannya [27]. Dalam aquaponik, manfaat terbesar dari rumput bebek bukanlah karena mengandung konsentrasi tinggi dari satu nutrisi (protein, pati, dll.), tetapi karena kaya akan banyak nutrisi dan diet yang mengandung rumput bebek hidup dapat secara substansial menurunkan biaya pakan ikan. Ikan (seperti nila) dapat diberi makan makanan campuran yang mengandung beberapa nutrisi dalam pakan formula dan beberapa nutrisi (seperti vitamin, mineral, protein, lemak, pati, dll.) dapat diberikan melalui rumput bebek hidup [28-32].

Untuk seluruh makanan dengan kadar air sisa 10% rumput bebek kering dapat disimpan tanpa kerusakan dari waktu ke waktu setidaknya lima tahun tanpa tindakan pencegahan khusus, jika dilindungi dari sinar matahari dan perubahan kelembaban. Degradasi pigmen dilakukan dengan paparan langsung sinar matahari sehingga mengurangi nilai gizi, tetapi tidak akan mempengaruhi kandungan protein. Kantong plastik buram direkomendasikan untuk penyimpanan jangka panjang. Pengeringan tenaga surya pasif dilakukan dengan menyebarkan bahan segar di tanah kosong atau di padang rumput dengan rumput, ini merupakan bentuk paling sederhana dari pasca panen dan pengolahan. Namun, paparan rumput bebek segar terhadap sinar ultraviolet matahari menurunkan beta-karoten dan pigmen lainnya, dan mengurangi konsentrasinya.

c. Memproduksi etanol dari rumput bebek [33].

Rumput bebek segar berumur enam hari, ditanam di air yang kekurangan nutrisi, dan rumput bebek kering oven digunakan dalam proses fermentasi [33]. Beban substrat adalah 100 g DW/L, tetapi ini hanya mungkin untuk rumput bebek yang dikeringkan dan bukan untuk biomassa rumput bebek segar. Hasil etanol yang lebih besar diperoleh dari biomassa rumput bebek segar relatif terhadap biomassa rumput bebek kering terlepas dari jumlah pengurangan yang digunakan (Gambar. 2) [33]. Alasannya tidak jelas, tetapi diperkirakan bahwa beberapa pati hilang atau menjadi kurang tersedia untuk hidrolisis dalam rumput bebek kering.



Gambar 2. Hasil etanol dari biomassa rumput bebek segar dan kering [33]

d. Menggunakan rumput bebek untuk menjernihkan air.

Pemanfaatan rumput bebek untuk penjernihan air adalah salah satu yang paling sering diusulkan. Rumput bebek masih sensitif dan membutuhkan kondisi yang terkendali untuk tumbuh cepat dan tetap sehat di hadapan polutan. Mempertahankan budaya rumput bebek yang kaya sulit tanpa pencahayaan dan nutrisi yang cukup. Selain itu, biomassa rumput bebek dapat mengakumulasi racun dari air, sehingga tidak dapat digunakan untuk aplikasi pakan.

Bahan dan metode

Kondisi khusus untuk budidaya rumput bebek

Rumput bebek memainkan peran penting dalam menghilangkan nitrogen dan fosfor dari air. Namun, itu membutuhkan beberapa kondisi khusus:

- a. Luas permukaan dan kedalaman air.
Luas permukaan harus dimaksimalkan. Rumput bebek hanya membutuhkan air setinggi beberapa inci, tetapi membutuhkan banyak ruang untuk menyebar. Diletakkan di bawah sinar matahari langsung. Disarankan agar airnya cukup dalam, sehingga tidak terlalu cepat panas.
- b. Oksigen.
Di kolam renang alga tanpa aerasi air, akan mengkonsumsi oksigen di dalam air sehingga membuatnya menjadi anaerobik.
- c. pH.
Rumput bebek dapat bertahan hidup pada pH mulai dari 5 hingga 9, tetapi tumbuh paling baik pada rentang pH 6,5 hingga 7,5. Ketika pH di bawah 7,0, amonia dapat disimpan dalam bentuk ion (NH_4^+), yang sebenarnya merupakan bentuk nitrogen yang disukai untuk *Lemna* sp. Jika pH basa, akan mengubah keseimbangan ion amonia amonium menjadi gas amonia, yang beracun bagi rumput bebek.

d. Suhu.

Di musim hangat, rumput bebek tumbuh lebih cepat. Untuk pertumbuhan yang lebih cepat, suhu harus di atas 21.1°C [34]. Spesies rumput bebek yang berbeda tumbuh dari daerah kutub ke Khatulistiwa dan hadir di berbagai ketinggian. Namun, kisaran suhu untuk setiap spesies rumput bebek terbatas, sehingga setiap iklim suhu dihuni oleh spesies yang berbeda.

e. Pencahayaan.

Rumput bebek lebih menyukai sinar matahari alami dan umumnya tumbuh di kolam terbuka atau lahan basah dangkal yang terpapar sinar matahari [34]. Dalam wadah tertutup, tanaman yang ditanam tidak dapat kehilangan air karena penguapan, tetapi paparan sinar matahari langsung, di dalam wadah atau di rumah kaca, tanaman akan menjadi terlalu panas, memutih dan mati. Penerangan buatan juga dapat digunakan saat menanam rumput bebek, tetapi mahal dalam hal infrastruktur, bahan habis pakai, dan intensif energi.

f. Gerakan air.

Rumput bebek tidak menyukai air yang bergerak di permukaan, tetapi hanya di bawahnya. Untuk alasan ini, sering direkomendasikan untuk menanam rumput bebek dengan penghalang permukaan. Air dalam gerakan lambat lebih disukai oleh rumput bebek, namun pertumbuhan cepat dapat diamati di beberapa daerah dengan air yang diaduk. Untuk meningkatkan proses reproduksi aseksual, sepertinya rumput bebek lebih suka berkembang di air di mana fenomena air tenang, serta di sekitar aliran pembuangan. (misalnya, rumput bebek akan membelah lebih cepat).

- g. Parameter lain yang mempengaruhi budidaya rumput bebek adalah: salinitas, amonia, kepadatan rumput bebek, pupuk, kalium, mineral dan beban organik.

Pengelolaan budidaya rumput bebek

- Kepadatan tanaman.
Dalam budidaya rumput bebek, harus tetap pada kepadatan yang wajar untuk membelah dengan cepat dan oleh karena itu harus sering dipanen. Bahkan jika kepadatan tanaman adalah cakupan yang lengkap, berapa tingkat pertumbuhan yang optimal; itu masih menawarkan ruang yang cukup untuk menampung pertumbuhan koloni yang cepat. Ini setara dengan satu hari produksi tanaman yang mewakili tingkat 0,5 hingga 1,5 ton rumput bebek segar per hektar [35, 36]. Tanaman penutup yang rapat akan menekan bakteri nitrifikasi dan akan mengurangi oksigen terlarut dalam kolom air. Proses denitrifikasi membaik melalui peningkatan bakteri anaerob dan memastikan keseimbangan nitrogen dibandingkan dengan amonium vs nitrat. Ketika ion amonium diasimilasi oleh rumput bebek maka akan menurunkan pH air. Kemampuannya untuk membentuk tikar di atas permukaan air merupakan salah satu keunggulan kompetitif dari rumput bebek.
- Polikultur atau monokultur?
Seringkali, dua atau lebih spesies rumput bebek tumbuh bersama secara alami dalam sistem perairan, yang meningkatkan kisaran kondisi lingkungan di mana tanaman tersebut telah berkembang. Jenis rumput bebek

yang berbeda memiliki optimal pertumbuhan yang berbeda, oleh karena itu variasi musim dapat mengakibatkan perubahan komposisi dan dominasi spesies. Harus diakui bahwa cadangan benih yang disimpan pada koloni yang berbeda dari rumput bebek dari spesies yang sama akan sedikit berbeda secara genetik dan kemungkinan besar akan beradaptasi dan terpisah pada kondisi lingkungan yang ringan.

- Manajemen alga.
Pesaing utama rumput bebek untuk nutrisi dan pertumbuhan cepat adalah ganggang uniseluler. Oleh karena itu, biomassa rumput bebek yang cukup padat harus menutupi permukaan air untuk menekan pertumbuhan alga. Ini adalah teknik pengelolaan tanaman yang penting karena jika ada kesempatan, alga akan tumbuh lebih cepat daripada rumput bebek. Produksi ammonia bebas alga dominan yang meningkatkan pH lingkungan yang bersifat racun bagi rumput bebek. Meskipun mekanismenya belum jelas, beberapa ganggang mikroskopis menghambat penyerapan nutrisi dan dengan demikian dapat mengurangi pertumbuhan rumput bebek.

Hasil dan Diskusi Pemanfaatan rumput bebek untuk pengolahan air limbah

Amonium adalah bentuk nitrogen yang disukai untuk spesies rumput bebek. Sumber utama amonium bagi koloni rumput bebek di alam bebas adalah penguraian bahan organik oleh bakteri anaerob yang ada. Dilaporkan bahwa tanaman rumput bebek akan memanfaatkan sebagian besar amonium yang tersedia sebelum mereka mulai mengasimilasi nitrat,

dan tumbuh lebih cepat dengan adanya amonium. Sebaliknya, alga uniseluler akan lebih menyukai nitrat. Hal ini menarik karena dapat menawarkan solusi untuk pengolahan air dalam sistem resirkulasi. Di antara semua spesies rumput bebek *Lemna gibba* dan *Lemna minor* ditemukan beberapa yang paling efisien dalam pengolahan air limbah, dengan menghilangkan nutrisi, bahan organik, garam larut, logam berat dan menghilangkan padatan tersuspensi, kelimpahan alga dan adanya koliform fekal.

Dalam percobaan pertumbuhan rumput bebek laboratorium, N. Ozengin dan A. Elmaci [37] memberi makan rumput bebek dengan air limbah kota dan industri pada suhu konstan. Efisiensi pengolahan air bio-reaktor rumput bebek (berkenaan dengan COD, fosfor total (TP), nitrogen total (TN), dan ortofosfat (OP)) dievaluasi dengan mengukur influen dan effluen. Efisiensi penyisihan adalah 73-84% untuk COD, 70-85% untuk TP, 83-87% untuk TN, dan 83-95% untuk OP [37]. Dalam percobaan oleh M.W. Shammout dan H. Zakaria [38] rumput bebek (*Lemna sp.*) digunakan untuk meningkatkan kualitas air limbah di instalasi pengolahan air limbah.

Percobaan laboratorium Rumput bebek pada air limbah ini telah menunjukkan efisiensi penyisihan rata-rata 51% untuk BOD 5, 56% pada nitrat, 48% pada TN, 46% pada nitrogen organik, 56% pada fosfat, 50% pada fosfor total, 68% pada total coliform (TC), 75% pada jumlah total layak (TVC) dan 69% pada fecal coliform (FC) [38].

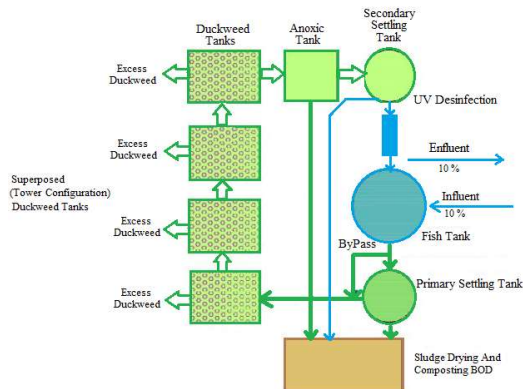
Teknologi inovatif, menggunakan rumput bebek, untuk pengolahan air limbah di dalam RAS

Penulis mengusulkan teknologi pengolahan air limbah, dengan tangki rumput bebek, untuk sistem akuakultur resirkulasi (RAS) (Gbr. 3). Pada umumnya RAS 90% air disirkulasi ulang, sehingga 10% air tawar diganti setiap hari. Dalam sistem pemurnian yang diusulkan di sini, influen masuk langsung ke kolam ikan. Dari bak ini, air yang tercemar dibuang ke decanter primer untuk menghilangkan suspensi padat, setelah itu air

dipompa ke tahap pemurnian rumput bebek. Kolam Rumput bebek adalah konsep baru yang dirancang untuk tapak minimal.

Kolam-kolam ini dapat diangin-anginkan untuk memastikan kebutuhan oksigen untuk tanaman dan pengurangan CBO 5. Tergantung pada lokasinya, sistem pencahayaan buatan dapat disediakan, terutama untuk penampungan di tingkat bawah dari konfigurasi menara. Penampungan rumput bebek pertama di mana air limbah masuk terletak di tingkat yang lebih tinggi, setelah itu air mengalir secara gravitasi ke penampungan yang lebih rendah. Terutama di kolam inilah pengurangan CBO 5 dan amonium tercapai. Selanjutnya diusulkan untuk menempatkan penampungan anoksik untuk mengurangi jumlah nitrat dan nitrit. Langkah pengolahan biologis diikuti dengan langkah lain untuk menghilangkan suspensi padat. Sebelum memasukkan kembali air olahan ke dalam kolam ikan, lakukan desinfeksi dengan sistem desinfeksi dengan lampu UV. Lumpur dibuang dari bak pengolahan. Untuk pemurnian air yang efisien, kelebihan rumput bebek harus dihilangkan. Dalam pemurnian skema yang disediakan pada Gambar 3 masih dapat memasukkan pelampung lain dengan flotasi udara terlarut.

Keunggulan teknologi ini adalah memperkenalkan udara dalam bentuk nano-bubbles, yang meningkatkan efisiensi transfer oksigen dari udara ke dalam air dan membantu proses penjernihan air. Selanjutnya, dengan flotasi, dimungkinkan untuk menghilangkan suspensi padat "ringan" yang memiliki kerapatan mendekati air dan yang tidak mengendap atau mengendap sangat keras.



Gambar 3. Pemanfaatan Rumput Bebek di Instalasi Pengolahan Air Limbah RAS

Kesimpulan

Instalasi pengolahan air limbah berbasis rumput bebek relatif sederhana baik dari segi investasi maupun pengoperasian/pemeliharaannya. Rumput bebek tidak memerlukan teknologi atau peralatan yang mahal. Oleh karena itu, teknologi ini dapat dikatakan hemat biaya dan ramah lingkungan untuk pengolahan air limbah RAS. Selanjutnya, pemanfaatan tambahan dari biomassa rumput bebek yang berlebihan akan menambah manfaat bagi pengguna akhir [39].

Daftar Pustaka

- [1] S.M. Tam, P.C. Boyce, T.M. Upson, D. Barabe, A. Bruneau, F. Forest, J.S. Parker, *Intergeneric and Intrafamilial Phylogeny of Subfamily Monsteroideae (Araceae) Revealed by chloroplast TRNL-F Sequences*, **American Journal of Botany**, **91**(3), 2004, pp. 490–498.
- [2] C.D. Sculthorpe, **The Biology of Aquatic Vascular Plants** (second edition), Lubrecht & Cramer Ltd, New York, 1985, p. 82.
- [3] * * *, **Lemnoideae**, <https://en.wikipedia.org/wiki/Lemnoideae>
- [4] E. Landolt, **Biosystematic Investigations in the Family of Duckweeds (Lemnaceae). The Family of Lemnaceae, A Monographic Study. Vol. 1: Morphology, Karyology, Ecology, Geographic Distribution, Systematic Position, Nomenclature**, Eidgenössische Technische Hochschule, Stiftung Rübel Zürich. Geobotanisches Institut Zürich, 1986, p. 124.
- [5] F.P. Guimarães, R. Aguiar, D. Karam, J.A. Oliveira, J.A.A. Silva, C.L. Santos, B.F. Sant'anna-Santos, C. Lizieri-Santos, *Potential of macrophytes for removing atrazine from aqueous solution*, **Planta Daninha**, **29**, 2011, pp. 1137-1147.
- [6] * * *, **Marsilea quadrifolia**, <https://bwellsassociation.wordpress.com/2016/02/16/european-water-clover-marsileaquadrifolia-visits-north-carolina/>
- [7] A. Van Hoeck, N. Horemans, P. Monsieurs, H.X. Cao, H. Vandenhove, R. Blust, *The first draft genome of the aquatic model plant Lemna minor opens the route for future stress physiology research and biotechnological applications*, **Biotechnol Biofuels**, **8**(188), 2015, pp. 1 - 13.
- [8] C.Gauw, Y. Derksen, **Water Lentils, Delicious and Healthy**, ABC Kroos BV, Groenlo 2015, p. 11.
- [9] * * *, **Salvinia natans**, <http://aquapedia.ro/salvinia-natans/>
- [10] * * *, **Spirodela polyrhiza**, http://www.illinoiswildflowers.info/wetland/plants/gr_duckweed.html/
- [11] * * *, **Wolffia arrhizal**, <https://fairdinkumseeds.com/products-page/aquatic-swamp-and-moisture-lovers/wolffia-arrhiza-watermeal-duckweed-starter-culture/>
- [12] * * *, **Wolffiella sp.**, <http://www.loyno.edu/lucec/natural-history-writings/our-smallest-native-plant-floating-communities/>
- [13] * * *, **Landoltia punctata**, <http://www2.palomar.edu/users/warmstrong/imgsppu.htm>
- [14] N. Stenkjaer, **Duckweed for Water Cleaning and Energy Production**, 2010, available at <http://www.folkecenter.net/gb/rd/biogas/technologies/water-for-life/duckweed/>

- [15] Y.L. Yao, M. Zhang, Y.T. Tian, M. Zhao, B.W. Zhang, M. Zhao, K. Zeng, B. Yin, *Duckweed (Spirodela polyrhiza) as green manure for increasing yield and reducing nitrogen loss in rice production*, **Field Crops Research**, **214**, 2017, pp. 273-282.
- [16] D. Kumar, S.R. Asolekar, *Significance of natural treatment systems to enhance reuse of treated effluent: A critical assessment*, **Ecological Engineering**, **94**, 2016, pp. 225-237.
- [17] V. Vasilache, M.A. Cretu, L.F. Pascu, M. Risca, E. Ciornea, C. Maxim, I.G. Sandu, C.I. Ciobanu, *Dehydrogenases Activity in Sludge Samples of Suceava River*, **International Journal of Conservation Science**, **6**(1), 2015, pp. 93-98.
- [18] A. Berteza, L.R. Manea, A.P. Berteza, I. Sandu, *Kinetics of Fenton Like Cotton Reactive Dyeing Wastewater Discoloration Process*, **Revista de Chimie**, **67**(12), 2016, pp. 24462448.
- [19] S.M. Kerstens, A. Priyanka, K.C. van Dijk, F.J. De Ruijter, I. Leusbrock, G. Zeeman, *Potential demand for recoverable resources from Indonesian wastewater and solid waste*, **Resources Conservation and Recycling**, **110**, 2016, pp. 16-29.
- [20] M. Mihaly, G. Niculae, S. Stefan, A. Meghea, *Transfer and Translocation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons within Some Aquaculture Bio-systems in Romania*, **Revista de Chimie**, **61**(11), 2010, pp. 1009-1016.
- [21] S.A. El-Shafai, F.K. Abdel-Gawad, F. Samhan, F.A. Nasr, *Resource recovery from septic tank effluent using duckweed-based tilapia aquaculture*, **Environmental Technology** **34**(1), 2013, pp. 121-129.
- [22] C. Staniloiu, C. Florescu, *Considerations for Optimization of Biological Treatment Process for Small Wastewater Treatment Plant* **Revista de Chimie**, **65**(4), 2014, pp. 502505.
- [23] M. Nuruzzaman, A. Al-Mamun, M.N. Bin Salleh, *Challenges in the Rehabilitation of the Pusu River*, **International Journal of Conservation Science**, **8**(1), 2017, pp. 121-130.
- [24] M.A. Al-Qutob, T.S. Nashashibi, *Duckweed Lemna minor (Liliopsida, Lemnaceae) as a Natural Biofilter in Brackish and Fresh Closed Recirculating Systems*, **AACL Bioflux** **5**(5), 2012, pp. 380-392.
- [25] C.G. Liu, Z. Dai, H.W. Sun, *Potential of Duckweed (Lemna Minor) for Removal of Nitrogen and Phosphorus from Water under Salt Stress*, **Journal of Environmental Management**, **187**, 2017, pp. 497-503.
- [26] E. Landolt, R. Kandeler, **Biosystematic Investigations in the Family of Duckweeds (Lemnaceae): The Family of Lemnaceae - A Monographic Study, Vol. 2: Phytochemistry, Physiology, Application and Bibliography**, Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel, Zurich, 1987, p. 584.
- [27] C. Davis, P. Davis, *Duckweed – The Food of the Future*, available at: <https://portablefarms.com/2017/duckweed-food-future/>
- [28] F.A. Tavares, J.B.R. Rodrigues, D. Fracalossi, E. Juan, R. Roubach, *Dried Duckweed and Commercial Feed Promote Adequate Growth Performance of Tilapia Fingerlings*, **Biotemas**, **21**(3), 2008, pp. 91- 97.
- [29] S.A. El-Shafai, F.A. El-Gohary, J.A.J. Verreth, J.W. Schrama, H.J. Gijzen, *Apparent Digestibility Coefficient of Duckweed (Lemna Minor), Fresh and Dry for Nile Tilapia (Oreochromis Niloticus L.)*, **Aquaculture Research**, **35**(6), 2004, pp. 574-586.
- [30] E.A. Fasakin, A.M. Balogun, B.E. Fasuru, *Use of Duckweed, Spirodela Polyrrhiza L. Schleiden, as a Protein Feedstuff in Practical Diets for Tilapia Oreochromis Niloticus L.*, **Aquaculture Research**, **30**(5) 1999, pp. 313-318.
- [31] T.N. Nguyen, D.A. Davis, I.P. Saoud, *Evaluation of Alternative Protein Sources to Replace Fish Meal in Practical Diets for Juvenile Tilapia, Oreochromis spp.*, **Journal of World Aquaculture Society**, **40**(1), 2009, pp. 113-121.
- [32] A.K. Amirkolaie, S.A. El-Shafai, E.H. Eding, J.W. Schrama, J.A.J. Verreth, *Comparison of*

- Faecal Collection Method with High- and Low-Quality Diets Regarding Digestibility and Faeces Characteristics Measurements in Nile Tilapia*, **Aquaculture Research**, 36(6), 2005, pp. 578-585.
- [33] M. Kesaano, **Sustainable Management of Duckweed Biomass Grown for Nutrient Control in Municipal Wastewaters**, All Graduate Theses and Dissertations. Paper 879. Utah State University, Logan, 2011, p. 25 and 52.
- [34] * * *, **Tips for Growing Duckweed**, <http://www.mobot.org/jwccross/duckweed/growingduckweed.htm>
- [35] P. Skilicorn, S. William, W. Journey, **Duckweed Aquaculture – A New Aquatic Farming System for Developing Countries**, The World Bank, Wasghington DC, 1993, p. 14.
- [36] E. Chaudhary, P. Sharma, *Use of Duckweed in Wastewater Treatment*, **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, 3(6), 2014, pp. 13622-13624.
- [37] N. Ozengin, A. Elmaci, *Performance of Duckweed (*Lemna minor L.*) on Different Types of Wastewater Treatment*, **Journal of Environmental Biology**, 28(2), 2007, pp. 307-314.
- [38] M.W. Shammout, H. Zakaria, *Water Quality and Growth Trend of Aquatic Plant Duckweed: Management and Benefits*, **Environmental Engineering and Computer Application**, Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering and Computer Application, ICEECA 2014, December 25
- [39] R. Popa et al. **Duckweed Utilization for Fresh Water Conservation (Management) in Recirculated Aquaculture Systems**, International Journal of Conservation Science