

TANAMAN POTENSIAL PENYERAP LIMBAH STUDI KASUS DI PULAU BATAM

Sabaruddin W. Tjokrokusumo
Firman L. Sahwan

Peneliti pada Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstrack

Industrial development has resulted in increasing population growth and their activities in Batam Island. Increasing growth of industrial activities and human population has a direct impact on increasing water demand and water pollution, especially on surface water resource degradation. However control on this type of problem has not been done properly due to lack of awareness and environmental knowledge. To protect and conserve water resources from pollution and degradation, some activities have to be done in the future to protect water quality and quantity. Aquatic plants have ability to improve water quality to assimilate and transform pollutants into plant tissue and sedimentation process. Based on flora and fauna biological survey, the recent study found that some aquatic plants were observed has a potential and ability to absorb and uptake nutrient and pollutants. Those important plants are Rynchospora sp., Scleria sp., Cyperus sp., Hypolythrum sp., and Fimbristylis sp.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebijaksanaan untuk menjadikan Pulau Batam berfungsi sebagai pusat pengembangan industri dan kawasan berikat, pusat alih kapal, pusat logistik serta pengembangan pariwisata, telah membuat Pulau Batam berkembang dengan pesat. Perkembangan yang paling menonjol terjadi pada sektor industri. Pada tahun 1990 terdapat 44 perusahaan, dan meningkat menjadi 131 perusahaan pada tahun 1991. Pada tahun 1993 bertambah menjadi 155 perusahaan. Sebagai ikutannya, jumlah penduduk berkembang dengan pesat. Pada tahun 1983 jumlah penduduk pulau Batam yang baru 43.000 jiwa, meningkat menjadi 115.198 jiwa pada tahun 1992, dengan rata-rata pertumbuhan penduduk sebesar 18,6% pertahun, menggambarkan angka pertumbuhan penduduk yang tinggi sekali dibandingkan rata-rata pertumbuhan penduduk Indonesia pada umumnya.

Tingginya laju pertumbuhan industri dan penduduk pada sisi lainnya mempunyai potensi untuk mencemari sumberdaya air

yang ada. Padahal sumber daya air di Pulau Batam, terutama mengandalkan pada air permukaan (waduk) dan ini merupakan faktor pembatas pembangunan di pulau Batam. Untuk itulah sumberdaya air yang terbatas tersebut perlu dikonservasi, baik dari segi kuantitas maupun kualitas.

Konservasi sumber daya air dari segi kualitas menjadi lebih penting karena sumber daya air yang terbatas akan menjadi tidak bernilai apabila kualitasnya terus mengalami penurunan, sehingga tidak dapat memenuhi standard baku mutu yang ditetapkan.

Upaya mengendalikan kualitas sumber daya air merupakan tanggung jawab seluruh unsur yang ada di Pulau Batam, sehingga berkewajiban untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan terlebih dahulu sebelum dilepas ke badan air.

Yang menjadi permasalahan adalah adanya air buangan industri yang mengalir ke waduk yang peruntukannya untuk bahan baku air minum. Walaupun pihak industri telah melakukan pengolahan air limbah, ada baiknya air tersebut

sebelum masuk ke waduk disaring kembali melalui upaya tertentu, sehingga air yang masuk ke waduk benar-benar air yang tidak mencemari air waduk. Menurut ⁴⁾ untuk pengolahan limbah cair harus melalui berbagai langkah pengolahan atau disebut sebagai "multistages macrophyte-based system", seperti yang tercantum dalam Gambar 1. **Langkah pertama** yang harus dilakukan adalah untuk pengendapan bahan padatan secara mekanis, **selanjutnya** adalah untuk menghilangkan padatan tersuspensi, BOD, dan unsur N dan P-Organik, sedangkan **langkah ketiga** adalah proses nitrifikasi dan menurunkan kadar BOD, **langkah keempat** adalah proses denitrifikasi dan menghilangkan unsur P-Anorganik, dan **langkah terakhir** adalah proses oksigenasi dan menghilangkan unsur N dan P-Anorganik.

Sebelum upaya tersebut berjalan, perlu dilakukan upaya pendahuluan berupa inventarisasi tumbuhan air yang memiliki potensi, baik dilihat dari kemungkinan kemampuannya untuk menyerap limbah maupun faktor daya tumbuhnya berkaitan dengan daya serap hara yang terkandung dalam limbah cair.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan inventarisasi tumbuhan air (aquatic makrophyte) yang banyak terdapat di Pulau Batam dan menseleksi tumbuhan tersebut yang kemungkinan memiliki kemampuan untuk menyerap limbah cair dilihat dari struktur tumbuhan maupun daya adaptasinya.

2. METODA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara :

1. Pengambilan sampel tumbuhan air yang memiliki kriteria banyak terdapat di Pulau Batam dan kemungkinan memiliki potensi untuk menyerap limbah. Tumbuhan diambil secara komplit mulai dari perakaran hingga bunga, dan kemudian dimasukkan dalam plastik yang telah diberi label nomor sesuai dengan lokasi dimana tumbuhan tersebut diambil.
2. Identifikasi tumbuhan untuk menentukan jenis tumbuhan

berdasarkan nomor sampel yang ada. Identifikasi dilakukan oleh Herbarium Bogiruensi, Balai Penelitian dan Pengembangan Botani, Pusat Penelitian dan Pengembangan Biologi – LIPI, Bogor.

3. Analisis tumbuhan berdasarkan literatur (kriteria) yang ada, untuk menentukan apakah tumbuhan air yang dijadikan sampel memiliki kemungkinan untuk dapat menyerap limbah.

3. TINJAUAN PUSTAKA

Tumbuhan air yang banyak tumbuh di rawa pasang surut, maupun rawa air tawar, pinggiran/tepi sungai atau danau tidak banyak memperoleh perhatian umum, bahwa tumbuhan tersebut mempunyai fungsi untuk membersihkan air yang tercemar oleh polusi. Namun demikian sejak tahun 1970-an banyak peneliti yang memberikan perhatian terhadap potensi tumbuhan air sebagai penyerap limbah, baik limbah industri maupun limbah rumah tangga.

Menurut bentuk tumbuhnya tumbuhan air dapat dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok seperti yang tercantum dalam lampiran 2, yaitu ⁵⁾:

1. Tumbuhan air yang muncul dari permukaan air (emergent aquatatic macrophytes), contohnya adalah *Cirpus lacustris*, *Phragmites australia* dan *Typha latifolia*.
2. Tumbuhan air yang mengapung pada permukaan air, contohnya adalah *Nymphaea alba*, *Hydrocotyle vulgaris*, *Eichhornia crassipes*, dan *Lemna minor*.
3. Tumbuhan air yang tergenang atau tenggelam di dalam permukaan air, contohnya adalah *Potamogeton crispus* dan *Littorella uniflora*.

Tumbuhan air yang mengapung dipermukaan air, seperti ***Eichhornia crassipes*** telah banyak memperoleh perhatian para peneliti dalam menelaah kemampuannya menyerap zat yang terkandung di dalam air limbah.

Menurut ⁶⁾ bahwa eceng gondok (***Eichhornia crassipes***) mampu menyerap ion logam, berbagai jenis anion dan senyawa organik dari suatu larutan.

Sedangkan John (1984) membahas bahwa ***Eichhornia crassipes*** mampu menurunkan kadar zat padat tersuspensi (TDS), COD, BOD, amonia dan nitrogen total secara berturut-turut sebesar 78%, 92%, 98%, 50%, dan 56% selama 10 hari waktu tinggal (detention time). Hasil yang sama diperoleh juga oleh ⁸⁾ bahwa eceng gondok, ***Eichhornia crassipes***, mampu menurunkan nilai BOD, COD, fenol, fosfat, dan nitrogen total berturut-turut sebesar 94%, 74%, 67%, 80% dan 75% selama 3 (tiga) hari waktu tinggal. Tambahan pula, bahwa kadar Fe, Mn, Cr, Cd dan Cn mampu diturunkan oleh eceng gondok selama 3 hari berturut-turut sebesar 96%, 83%, 32%, 79% dan 90% ⁸⁾. Namun demikian menurut ⁹⁾ bahwa kualitas olahan air limbah dari suatu kolam sangat tergantung dari luas penutupan eceng gondok, frekuensi panen dan waktu retensi (detention time). Menurut ¹⁾ yang meneliti tentang ***Lemna minor*** menemukan bahwa ***Lemna sp.*** mampu menurunkan kandungan fosfat (PO₄) sebesar 91% dengan waktu retensi selama satu minggu dan sebesar 99% dengan waktu retensi selama 2 minggu. Lain halnya dengan ²⁾, yang meneliti tentang kemampuan penyerapan dari ***Scirpus validus***, ***Scirpus cyperinus***, ***Typha latifolia***, dan ***Typha angustifolia*** menyimpulkan bahwa ***Scirpus sp.*** mempunyai potensi untuk membersihkan air limbah karena mempunyai jumlah akar dan batang yang banyak, yang merupakan habitat penting dalam menunjang pertumbuhan mikroba yang mengubah unsur hara menjadi massa hidup (biomass).

Menurut ³⁾ dari majalah ***Ecos*** mengemukakan bahwa tumbuhan air mempunyai kemampuan untuk menyerap hara limbah dalam jumlah besar dengan cepat dan jumlahnya melebihi jumlah yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman itu sendiri. Oleh karena itu, ³⁾ menyebutkan bahwa tumbuhan air semacam ini sebagai "***luxury plant***". Hal ini disebabkan oleh kemampuannya yang dapat menguras unsur hara dalam limbah cair.

Disamping itu tumbuhan air tersebut tumbuh sangat cepat pada lahan rawa bersedimen yang miskin oksigen, dan tumbuhan air tersebut juga toleran terhadap limbah yang anaerobik. Sebagai contoh eceng gondok (***Eichhornia crassipes***),

jumlahnya dua kali lipat setiap 6 hari dalam kolam oksidasi di Florida, USA. Sementara itu dilaporkan bahwa ***Silvinia molesta***, akan dua kali lipat jumlahnya setiap 36 jam dalam media tumbuh yang kaya akan unsur hara di ***Mt. Isa.***, negara bagian ***Queensland, Australia*** ³⁾. Namun demikian, menurut ³⁾ bahwa pertumbuhan yang cepat dari jenis tumbuhan air yang mengapung di permukaan air diibaratkan sebagai pedang bermata dua, karena tanaman jenis ini menimbulkan masalah lingkungan dan sosial masyarakat. Oleh karena itu, di Australia, tanaman jenis ini digolongkan kedalam golongan gulma yang mengganggu/berbahaya (***noxious weeds***).

Tetapi dengan pertumbuhan yang cepat tersebut, tumbuhan air jenis ini juga mampu menghasilkan bio-massa dalam jumlah yang besar dan dapat dipanen secara berkala untuk menjaga dan mempertahankan kemampuannya dalam menyerap limbah cair. Bertolak belakang dengan tumbuhan air yang muncul dipermukaan air seperti ***Typha sp.***, dan ***Scirpus sp.***, dimana jenis tanaman ini tidak membutuhkan pemanenan yang berkala, sifatnya hanya sesekali saja. Oleh karena itu, jenis tumbuhan air ini mempunyai masa depan yang baik untuk digunakan sebagai tanaman penyerap limbah cair.

Kolam pengolahan limbah yang didalamnya terdapat tumbuhan air telah banyak dicoba oleh para peneliti. Menurut ⁵⁾ bahwa kolam pengolahan limbah yang berisi tumbuhan air (***constructed wetlands***) mempunyai banyak keuntungan dalam melakukan percobaan-percobaan bagi fasilitas pengolahan limbah, karena dapat dikontrol secara lebih intensif baik jenis tanamannya, jenis komposisinya, tempat tumbuhnya, maupun pola aliran airnya. Seperti kita ketahui bahwa air limbah yang melalui sistem tersebut akan mengalami suatu kombinasi proses biologi, fisika dan kimia yang meliputi asimilasi oleh tanaman, transformasi oleh mikroba, sedimentasi, presipitasi dan adsorpsi oleh partikel tanah. Oleh karena itu ⁵⁾ mengklasifikasikan sistem pengolahan limbah dengan menggunakan tumbuhan air kedalam empat kelompok, yaitu:

1. System pengolahan dengan menggunakan tumbuhan air yang mengapung di permukaan air.

2. System pengolahan dengan menggunakan tumbuhan air yang tenggelam didalam permukaan air.
3. System pengolahan dengan menggunakan tumbuhan air yang muncul dari permukaan air.
4. System pengolahan dengan menggunakan tumbuhan air yang dikombinasi.

Dengan adanya beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pengolahan limbah, seperti faktor vegetasi, jenis tumbuh-tumbuhan dan jenis aliran, maka kombinasi sistem pengolahan limbah cair dapat dikombinasikan sesuai dengan keinginan seperti tertera dalam lampiran 3.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, ternyata bahwa tanaman yang cukup memiliki kemampuan untuk menyerap bahan pencemar yang ada diperairan tertentu. Jenis-jenis tumbuhan air yang ada, kebanyakan tumbuhan air yang tumbuh muncul ke permukaan air (emergent aquatic plants). Oleh karena itu penelitian ini menekankan pada jenis-jenis tersebut.

Hasil identifikasi yang dilakukan oleh Herbarium Bogoriense, Bogor terhadap 13 contoh tumbuhan air (Lampiran 1) yang kemungkinan memiliki potensi untuk digunakan sebagai penyaring limbah yang ada diperairan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis Tumbuhan Air

No. Contoh	Jenis	Suku
01	<i>Rynchospora corimbosa</i> (L.) Britt	Cyperaceae
02	<i>Lepironia articulata</i> Domin	Cyperaceae
03	<i>Hypolythrum</i> sp.	Cyperaceae
04	<i>Rynchospora corimbosa</i> (L.) Britt	Cyperaceae
05	<i>Scleria levis</i> Retz	Cyperaceae
06	<i>Fimbristylis ferruginea</i> (L.) Vahl	Cyperaceae
07	<i>Scleria purpurascens</i> Steud	Cyperaceae
08	<i>Rynchospora corymbosa</i> (L. Britt)	Cyperaceae
09	<i>Xyris</i> sp.	Cyperaceae
10	<i>Scleria ciliaris</i> Hees	Xyruaceae
11	<i>Cyperus</i> sp.	Cyperaceae

12	<i>Machaerina rubiginosa</i> (speng) koyama	Cyperaceae
13	<i>Cyperus</i> sp.	Cyperaceae

Dari 13 contoh tumbuhan air ini, dapat dikelompokkan menjadi 8 (delapan) grup, yaitu:

- 1) *Rynchospora* sp.
- 2) *Scleria* sp.
- 3) *Lepironia* sp.
- 4) *Cyperus* sp.
- 5) *Hypolythrum* sp.
- 6) *Fimbristylis* sp.
- 7) *Xyris* sp.
- 8) *Machaerina* sp.

Menurut ²⁾, tumbuhan air yang mempunyai perakaran dan biomassa yang banyak berkemampuan untuk menyerap limbah dalam jumlah besar. Dalam hal ini disebabkan karena kebanyakan biomassa dan akar merupakan suatu habitat yang baik bagi pertumbuhan mikroba. Berdasarkan kriteria ²⁾, maka kelompok tumbuhan air yang mempunyai potensi menyerap limbah dalam jumlah besar di Pulau Batam adalah:

- 1) *Rynchospora* sp.
- 2) *Scleria* sp.
- 3) *Lepironia* sp.
- 4) *Cyperus* sp.
- 5) *Hypolythrum* sp.
- 6) *Fimbristylis* sp.

Sedangkan dua jenis yang terakhir yaitu *Xyris* sp. dan *Machaerina* sp. tidak termasuk dalam kriteria yang ditentukan oleh *Pulin dan Hammer* (1991).

Disamping jenis tanaman, menurut Brix dan Schierup (1989) yang mempengaruhi hasil pengolahan limbah dengan sistem tumbuhan air adalah jenis komposisi media tumbuh dan pola aliran. Hal ini disebabkan karena limbah cair dalam sistem tumbuhan air ini diserap/dijernihkan melalui suatu kombinasi proses biologi, fisika dan kimia yang meliputi asimilasi oleh tanaman, transformasi mikroba, sedimentasi, presipitasi dan adsorpsi oleh partikel tanah.

Oleh karena itu efektivitas penyerapan limbah oleh tumbuhan air yang potensial sangat tergantung dari disain sistem pengolahan limbah yang direncanakan berdasarkan tujuan dari

sistem pengolahan seperti yang tertera dalam Gambar 1. Untuk mengetahui kemampuan tumbuhan air yang potensial penyerap limbah yang terdapat di Pulau Batam diperlukan penelitian yang lebih intensif dengan menggunakan berbagai macam tumbuhan air, tipe sistem pengolahan dan pola aliran.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dikemukakan diatas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pulau Batam memiliki jenis tumbuhan air yang dapat digunakan sebagai penyerap limbah.
2. Jenis tumbuhan air yang kemungkinan memiliki potensi penyerap limbah adalah *Rynchospora sp.*, *Scleria sp.*, *Lepironia sp.*, *Cyperus sp.*, *Hypolythrum sp.*, *Fimbristylis sp.*
3. Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan di pulau Batam yang bertujuan untuk uji coba yang lebih intensif dengan berbagai macam pola sistem pengolahan dari berbagai jenis tumbuhan air yang mempunyai potensil sebagai penyerap limbah.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Budahavarapu, L.R and Hacock, S.J. (1991). Advanced Treatment for Lagoons Using Ducleweed. Water Environmental & Technology, March 1991 ; 41 – 44.
2. Pullin, B.P. and Hammer, D.A. (1991). Aquatic plans improve waste water treatment. Water Environmental Technology, March 1991 : 36 -40.
3. Brett, D. (1989). Getting in Clean with aquatic plants, Ecos 60, Winter 1989 : 17 – 22
4. Brix, H. (1993). Wastewater Treatment in Constructed Wetlands: System design, removal processes, and treatment performance. In Moshiri G.A. (ed.) "Constructed Wetlands for Water Quality Improvement". Lewis Publishers, Boca Raton, California, USA, pp.9-22.
5. Brix, H. and Schierup, H.H. (1989). The uses of aquatic macrophytes in water-pollution control. Ambio 18 (2) ; 100 – 107.
6. Haider, S.Z. Malik, K.M.A, and Rahman, M.M. (1984). Mechanism of absorption of chemical species from aqualons medium by water hyacinth and prospects of its utilization. Proceedings of

Ten International Conference on Water Hyacinth. Hyderabad, India, February 7-11, 1983.

7. John, C.K. (1994). Use of water hyacinth in the treatment of effluents from rubber industry. Proceeding of the International Conference on Water Hyacinth. Hyderabad, India, February 7-11, 1983.
8. Nath, K.S., Rama, S.V. Nair, S. Gilman, R.H. and Mullicle, D (1984). Low cost waste water treatment with water hyacientes. Proceeding of the International Conference on Water Hyacinth. Hyderabad, India, February 7-11, 1983.
9. Wolverton, B.C. and Mc. Donal, R.C. (1975). Water Hyacinth for upgrading sewage lagoons to meet advanced waste water treatment standards : Part 1. NASA technical Memorandum No. TM-X72 729, 10pp. in : Weed Abstract (1979) Vol. 25(7) : p. 237.

Lampiran 1 :



HERBARIUM BOGORIENSE

Balai Penelitian dan Pengembangan Botani
Pusat Penelitian dan Pengembangan Biologi - LIPI
(Centre for Research and Development in Biology - LIPI)

Jalan Raya Juanda No. 22, P.O. Box 110, Bogor 16122 - Indonesia Telp. 0251 - 322035 Fax. 0251 - 325854

Bogor, 15^{Sept} Agustus 1994

No. : 128 / II.1.03/IF.Id/IX/94
Lampiran :
Perihal : Hasil identifikasi tumbuhan

Kepada Yth.
Sdr. Firman L. Sahwan
BPP Teknoligi

Dengan hormat,

Bersama ini kami sampaikan hasil identifikasi tumbuhan yang Saudara kirimkan ke "Herbarium Bogoriense", Balitbang Botani, Puslitbang Biologi-LIPI, Bogor, adalah sebagai berikut :

No.	No.Kol	Jenis	Suku
1.	01	<i>Rynchospora corymbosa</i> (L.) Britt.	Cyperaceae
2.	02	<i>Lepironia articulata</i> Domin	Cyperaceae
3.	03	<i>Hypolythrum</i> sp.	Cyperaceae
4.	04	<i>Rynchospora corymbosa</i> (L.) Britt.	Cyperaceae
5.	05	<i>Scleria levis</i> Retz.	Cyperaceae
6.	06	<i>Fimbristylis ferruginea</i> (L.) Vahl.	Cyperaceae
7.	07	<i>Scleria purpurascens</i> Steud.	Cyperaceae
8.	08	<i>Rynchospora corymbosa</i> (L.) Britt.	Cyperaceae
9.	09	<i>Xyris</i> sp.	Xyridaceae
10.	10	<i>Scleria ciliaris</i> Nees	Cyperaceae
11.	11	<i>Cyperus</i> sp.	Cyperaceae
12.	12	<i>Nachaerina rubiginosa</i> (Sprong.) Koyana	Cyperaceae
13.	13	<i>Cyperus</i> sp.	Cyperaceae

Demikian, semoga berguna bagi Saudara.

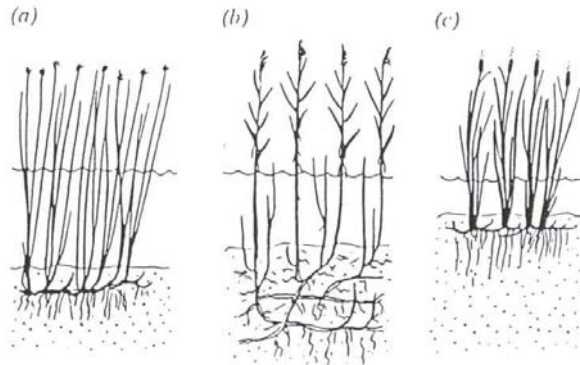
Ka. Balitbang Botani
Puslitbang Biologi - LIPI,
MUGen
Dr. Johannis F. Moega
NIP. 320001071

Lampiran 2 :
Sumber: Brix and Schierup (1989).

Figure 1. Life forms of aquatic macrophytes.

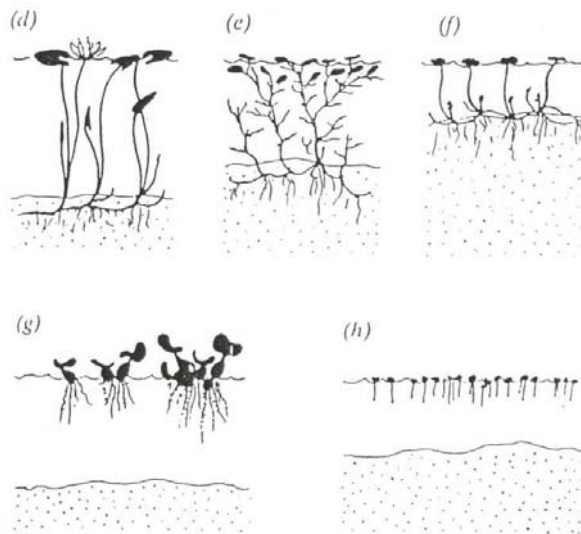
I. Emergent aquatic macrophytes are the dominating life form in wetlands and marshes, growing within a water-table range from 50 cm below the soil surface to a water depth of 150 cm or more. In general they produce aerial stems and leaves and an extensive root and rhizome system. The plants are morphologically adapted to growing in a waterlogged or submerged substrate by virtue of large internal air spaces for transportation of oxygen to roots and rhizomes. Part of the oxygen may leak into the surrounding rhizosphere creating oxidized conditions in the otherwise anoxic environment and stimulating both decomposition of organic matter and growth of nitrifying bacteria. The species sketched: (a) *Scirpus lacustris*, (b) *Phragmites australis*, and (c) *Typha latifolia* illustrate adaptations to different water depths and exploitation of soil volume (different depth penetration of roots and rhizomes).

I. Emergent Aquatic Macrophytes



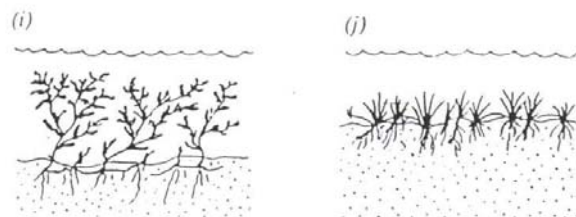
II. Floating-leaved aquatic macrophytes include both species which are rooted in the substrate, e.g. (d) *Nymphaea alba*, (e) *Potamogeton gramineus*, and (f) *Hydrocotyle vulgaris*, and species which are free-floating on the water surface, e.g. (g) *Elchhornia crassipes* and (h) *Lemna minor*. The floating-leaved species are highly diverse in form and habit, ranging from large plants with rosettes of aerial and/or floating leaves and well-developed submerged roots (e.g. *Elchhornia*), to minute surface-floating plants with few or no roots (e.g. *Lemna*).

II. Floating-leaved Aquatic Macrophytes



III. Submerged aquatic macrophytes have their photosynthetic tissue entirely submerged but usually the flowers exposed to the atmosphere. Two types of submerged aquatics are sketched: the elodoid type (e.g. (i) *Potamogeton crispus*), and the isoetid (rosette) type (j) *Littorella uniflora*.

III. Submerged Aquatic Macrophytes

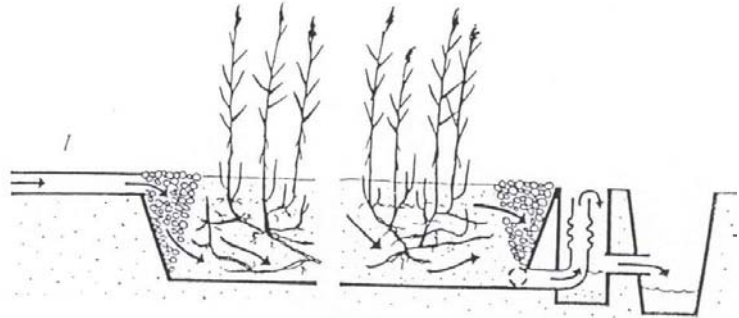


Lampiran 3 :

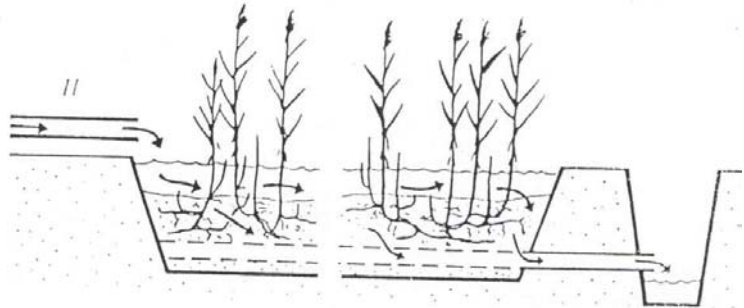
Sumber Brix and Schierup (1989).

Figure 2. Types of aquatic macrophyte-based wastewater treatment plants.

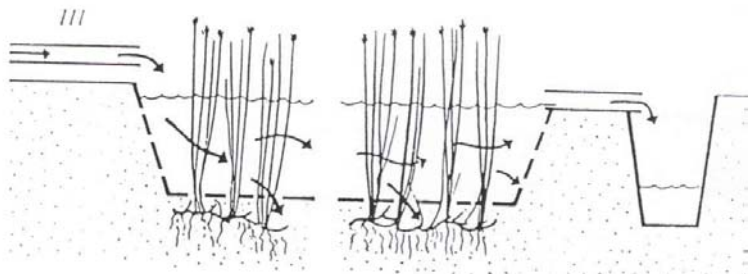
I. Constructed wetland with sub-surface horizontal water flow. Consists typically of a bed planted with *Phragmites australis* and underlain by an impermeable membrane to prevent seepage. The medium in the bed may be soil or gravel. Treatment processes are a combination of microbial conversion (aerobic and anaerobic) and soil physical-chemical processes. The reeds should deliver the majority of the oxygen needed for BOD degradation and nitrification.



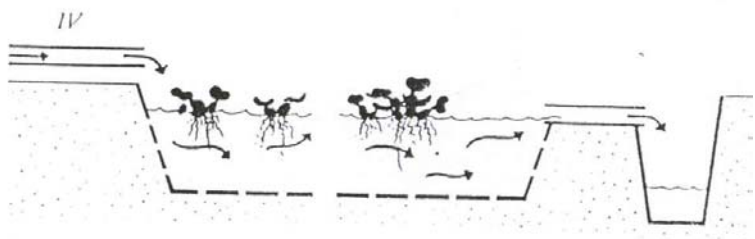
II. Constructed wetland with percolation of wastewater. Wastewater is pulse-loaded into the bed and then allowed to percolate to a drainage system in the bottom of the bed. The bed is allowed to dry out in between wastewater applications, so that the pore-space of the medium (soil or sand) is filled with air. Compared to I, flow distance of water is short and aeration of substrate better. The bed is sealed from the underground by an impermeable membrane.



III. Wetland with surface-flow of wastewater. May be natural or artificial. Constructed systems consist typically of 3-5-m wide and more than hundred-meter long trenches planted with *Scirpus lacustris*. The biological wastewater treatment is favored by the presence of submerged portions of stems and litter, which serve as substrate for attached microbial growth. A considerable proportion of wastewater may drain out from the trenches through the bottom.



IV. Free-floating macrophyte treatment system (water-hyacinth system). Consists typically of huge low-water lagoons stocked with *Eichhornia crassipes*. The treatment concept is mainly based on harvesting of produced biomass. Usually the lagoons are not sealed.



V. Submerged macrophyte treatment system. Consists of low-water lagoons planted with submerged macrophytes (e.g. *Elodea canadensis*). These systems are dependent on light-penetration through the water, and can therefore mainly be used for tertiary wastewater treatment (nutrient removal). Nutrients are removed by harvesting. Usually the lagoons are not sealed.

