

## PENGOLAHAN AIR LIMBAH DENGAN LAHAN BASAH BUATAN

Ami A. Meutia

Puslit Limnologi-LIPI

Jl. Raya Bogor km 46, Cibinong 16911

Tel. 021-875 7071/5260804, Fax. 021- 875 7076

e-mail: meutia@limnologi.lipi.go.id mizuno@idola.net.id

### ABSTRAK

*Lahan basah buatan (constructed wetland) adalah pendekatan terbaru pengolahan air limbah dengan teknologi sederhana, untuk menurunkan polusi lingkungan menggunakan tanaman dan mikroorganisme. Lahan basah buatan adalah sistem pengolahan air limbah alternatif dari sistem pengolahan konvensional. Lahan basah buatan merupakan teknologi pengolahan air limbah yang cocok untuk kebanyakan negara berkembang karena mempunyai beberapa keunggulan yaitu konstruksinya sederhana tanpa penggunaan energi listrik dan peralatan mesin, relatif murah biaya operasional dan perawatannya, operasional dan perawatannya mudah tanpa harus mempunyai keahlian tertentu, kapasitas penyisihannya cukup tinggi mempunyai kapasitas penyangga buffer yang luas, lumpur yang dihasilkan sedikit, cukup stabil dan merupakan pengolah sekunder dan tersier yang terbaik. Lahan basah buatan menyisihkan dengan baik berbagai macam beban materi seperti BOD, total suspended solids (TSS), nutrisi dan patogen (bakteri fecal coliform). Lahan basah buatan merupakan pengolah air limbah yang bersifal biologis dan fisik. Kesuksesan lahan basah buatan dalam memperbaiki kualitas air tergantung pada empat komponen dalam proses pengolahan air yaitu, tumbuhan, kolom air yang optimum, substrat/media yang cocok dan kehadiran mikroorganisme tertentu. Peran utama vegetasi wetland adalah menyediakan lingkungan yang cocok bagi mikroba untuk menempel dan tumbuh, bersamaan dengan itu menghalangi aliran dan menahan suspended solids. Substrat (media) seperti tanah, pasir dan kerikil berperan langsung dalam menghilangkan polutan dengan interaksi fisika-kimia seperti filtrasi dan sedimentasi dari suspended solids, filtrasi organisme patogen, sebagai permukaan reaktif untuk penyerapan dan pelepasan ion-ion yang sederhana dan kompleks, penyerapan materi organik, nitrogen dan logam berat. Selain itu substrat merupakan penyokong fisik untuk tanaman dan tempat menempelnya mikroorganisme. Mikroorganisme berperan penting dalam penjernihan air di lahan basah buatan. Mikroorganisme menggunakan materi organik sebagai substrat yang kaya akan energi dan mengubahnya menjadi nutrisi dan energi. Lahan basah buatan telah banyak digunakan untuk mengolah air limbah industri seperti, industri pengolahan daging, industri warna tekstil, industri kilang minyak, dan industri pulp mill. Selain itu juga dapat mengolah air limbah yang dihasilkan dari tempat pembuangan sampah, air limbah domestik dan perkotaan, air limbah pertanian, peternakan dan tambak, untuk memperbaiki kualitas air sungai dan danau, dan untuk menyisihkan logam-logam berat dari air limbah pertambangan.*

### ABSTRACT

*Constructed wetland is a highly potential alternative technology in Indonesia for treating wastewater. Constructed wetland is a simple low cost technology, easily constructed as well as maintained. The operation and maintenance are easy. Moreover, it has environmentally friendly and sustainable characteristics. It is suitable for developing countries, where land and manpower are relatively abundant, and capital is scarce. The constructed wetland is energetically sustainable because it uses only natural energy to reduce pollutants. It can improve water quality with the environmentally sustainable way. Constructed wetlands have most commonly been used in wastewater treatment to control organic matter and nitrogen and phosphorus. The wetland process is also used for controlling trace metals, and other toxic materials. Constructed wetland that uses microorganisms and plants maintains biodiversity and esthetic balance of wetlands. A constructed wetland uses natural geochemical, physical and biological processes in a wetland ecosystem to treat contaminants. The process filters some materials and degrades others. The technology incorporates principal components of wetland ecosystems that promote degradation: degradation and control of contaminants by plants, degradation by microbial activity, increased oxygen and nutrient levels, as well as increased sorption and filtering. Microbial activity is responsible for most of the remediation. Both aerobic and anaerobic systems (i.e., systems with and without oxygen) exist within the wetland. Many constructed wetland systems have been developed and applied for treating several kinds of wastewater. Constructed wetlands have been commercially used to control and degrade municipal and industrial wastewater such as pulp mill, textile, dairy, also mine drainage, agricultural and other polluted waters.*

## PENDAHULUAN

Pencemaran air di Indonesia belum dapat diatasi karena perkembangan pembangunan yang cepat tidak seimbang dengan usaha-usaha untuk mengurangi pencemaran yang terjadi. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pencemar domestik merupakan pencemar utama, sebaliknya penelitian lainnya menunjukkan bahwa industrilah penyumbang pencemaran terbesar. Sesungguhnya semua itu bersumber ketidakkampuan kedua belah pihak untuk membersihkan air limbahnya karena mahalnya instalasi pengolah limbah (IPAL) dan sulit dioperasikan. Oleh sebab itu diperlukan sistem pengolah air limbah yang murah dan mudah dioperasikan serta hasilnya tidak kalah dengan sistem pengolah yang canggih. Sistem alternatif ini adalah lahan basah buatan. Sistem ini tidak memerlukan perawatan yang rumit karena dasar pengoperasiannya sama dengan pertanian. Oleh karena itu tidak diperlukan teknisi khusus untuk menjalankannya. Selain itu karena menggunakan energi matahari dan tumbuhan sistem ini berkesinambungan secara alami (*environmental sustainable*).

### Lahan Basah Buatan

Lahan basah buatan (*constructed wetland*) adalah sebuah kompleks rancangan dan buatan manusia yang terdiri dari substrat, tanaman, hewan, dan air yang meniru lahan basah alami untuk kegunaan dan keuntungan manusia (Hammer, 1989). Lahan basah buatan untuk mengolah air limbah dicoba pertama kali di Jerman oleh Seidel dan Kickuth pada tahun 1960-an. Lahan basah buatan menggunakan teknologi sederhana dengan pendekatan baru untuk menurunkan pencemaran lingkungan dengan bantuan mikroorganisme dan tanaman. Lahan basah buatan adalah sistem alternatif. Sistem ini cocok bagi negara berkembang dimana lahan dan sumberdaya manusianya relatif banyak, sedangkan modalnya sedikit. Biaya pembuatan dan operasional lahan basah buatan relatif murah dibandingkan dengan sistem pengolah limbah lainnya, serta perawatannya mudah (Martin dan Johnson, 1995). Lahan basah buatan yang dapat mengolah air limbah dengan biaya operasi dan perawatan yang rendah, karena mengandalkan kekuatan alam yang berkelanjutan, cocok bagi negara berkembang seperti Indonesia. Tetapi karena lahan basah buatan berteknologi sederhana, yang hanya mengandalkan kekuatan alam, kapasitasnya tidak terlalu besar dan untuk proses pengolahannya dapat memakan waktu sehari-hari. Walaupun demikian lahan basah buatan adalah pengolah sekunder dan tersier yang sangat baik. Kelemahannya, sistem ini memerlukan lahan yang luas karena itu tidak cocok bagi daerah perkotaan yang tanahnya mahal atau yang lahannya sempit. Selain itu, karena relatif baru banyak masalah biologi dan hidrologi yang kompleks belum dipahami dengan baik. Tambah lagi, karena lahan basah ini masih sangat sedikit diterapkan di daerah tropis, sistem ini menjadi belum populer di Indonesia. Padahal daerah tropis memiliki lahan basah alami sejak dahulu. Jadi, sebenarnya lahan

basah buatan dapat berfungsi dengan baik di daerah tropis dimana proses penguraian limbahnya dapat berlangsung sepanjang tahun. Di Asia Tenggara, Thailand adalah negara yang banyak menggunakan teknologi ini, menyusul Malaysia. Di Afrika dan Amerika latin seperti Brasil, teknologi ini mulai berkembang dengan penekanan fungsi untuk menyisihkan patogen. Sedangkan di negara maju seperti Amerika, Australia, dan negara-negara Eropa pemakaian teknologi ini sudah banyak dan terus meningkat.

### **Mekanisme Penguraian di Dalam Lahan Basah Buatan**

Prinsip sistem pengolah ini adalah memanfaatkan mikroorganisme dan tumbuhan dalam menguraikan limbah. Tumbuhan berfungsi sebagai tempat tinggal, berkembang dan penyedia oksigen bagi mikroorganisme pengurai limbah. Di dalam lahan basah buatan terjadi penghilangan bahan pencemar dengan cara interaksi fisika kimia seperti filtrasi dan sedimentasi dari padatan tersuspensi (*suspended solid*), filtrasi organisme (bakteri, virus dan parasit) patogen, penguraian materi karbon organik, nitrogen, pemakaian dan sedimentasi senyawa fosfor, dan penyerapan logam-logam berat. Media di dalam lahan basah buatan secara tidak langsung berperan sebagai penyokong sistem perakaran dan area permukaannya untuk tempat menempel mikroorganisme. Mikroorganisme berperan penting dalam penjernihan air di lahan basah buatan. Mikroba menggunakan materi organik sebagai substrat yang kaya akan energi dan mengubahnya menjadi nutrisi dan energi. Tanaman memerankan peran penting yang mana difusi oksigen dari akar-akar memungkinkan keadaan yang sesuai untuk perkembangan mikroba aerobik. Sistem perakaran adalah area permukaan yang luas untuk pertumbuhan mikroorganisme. Sistem perakaran ini juga dapat melakukan filtrasi dan menahan padatan tersuspensi sehingga air keruh menjadi jernih. Daerah yang agak jauh dari sistem perakaran merupakan tempat tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme anoksik dan anaerobik.

### **Kemampuan Lahan Basah Buatan**

Bentuk-bentuk lahan basah buatan sangat bervariasi disesuaikan dengan tujuan pengolahan berbagai macam air limbah. Lahan basah buatan mempunyai kemampuan untuk mengolah air limbah apa saja, seperti air limbah yang berasal dari rumah tangga di perkotaan/pedesaan, berbagai industri, pertanian/peternakan, tambak, pertambangan, tempat penampungan sampah, dan lain-lain. Lahan basah buatan dapat pula membersihkan air sungai yang tercemar dengan cara membelokkan aliran air agar melewati lahan basah untuk kemudian dikembalikan lagi ke sungai. Lahan basah buatan juga dapat membersihkan air danau yang mengalami eutrofikasi (penyuburan) dengan berperan di daerah ekoton (perbatasan air-darat) danau.

Di negara empat musim kemampuan lahan basah buatan dalam menyisihkan BOD (*Biological*

*Oxygen Demand*) sekitar 73%, total-nitrogen sebesar 64%, total-fosfor sebesar 55% (Knight, 1992). Sedangkan di negara tropis seperti Indonesia penyisihan dapat lebih baik (Tabel 1) untuk COD (*Chemical Oxygen Demand*) sekitar 73-95%, senyawa nitrogen sekitar 82-95%, dan senyawa fosfor sekitar 93-94%, tetapi perubahan musim mempengaruhi efisiensi penyisihan (Meutia, 2000). Kemampuan lahan basah buatan di daerah tropis lebih baik karena tidak adanya musim dingin. Khususnya untuk penyisihan senyawa nitrogen dan fosfor lahan basah buatan di daerah tropis mempunyai kemampuan lebih tinggi dari pada yang berada di daerah empat musim (Meutia, 2001).

Tabel 1. Kemampuan lahan basah buatan dalam menyisihkan beberapa parameter.

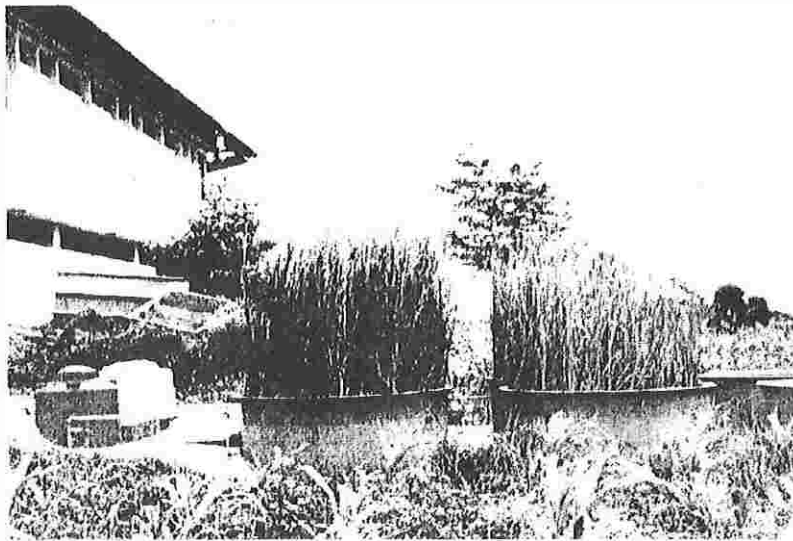
Data dari berbagai sumber.

Parameter	Kemampuan Penyisihan [%]	
	Daerah empat musim	Daerah tropis
BOD	73-90	80-95
COD	80-95	73-97
T-N	35-64	58-95
T-P	25-55	67-94
Coliform	99	99

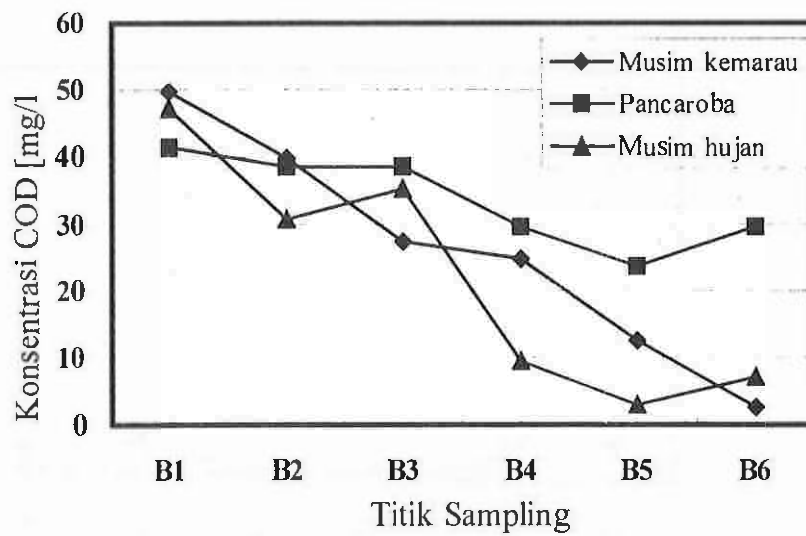
#### Contoh Penerapan Lahan Basah Buatan

Lahan basah buatan telah dicobakan untuk mengolah air limbah laboratorium kimia di Pusat Penelitian Limnologi-LIPI di *Life Science Center* Cibinong (Gambar 1). Hasil penelitian menunjukkan bahwa BOD dan COD disisihkan dengan baik, demikian pula senyawa nitrogen dan fosfor. Pada Gambar 2 diperlihatkan penyisihan COD di lahan basah buatan beraliran bawah permukaan, sedangkan Gambar 3 ditunjukkan penyisihan COD pada lahan basah buatan beraliran permukaan. Walaupun penyisihan COD di lahan basah buatan beraliran bawah permukaan lebih tinggi, namun hasil analisis statistik menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata antara penyisihan di kedua macam aliran tersebut.

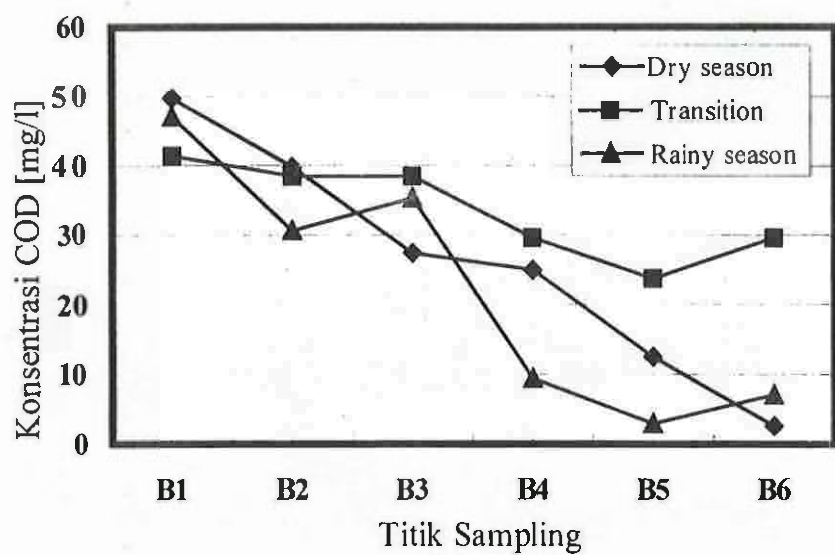
Pada Gambar 4 ditunjukkan penyisihan nitrogen total di dalam lahan basah buatan beraliran bawah permukaan dan Gambar 5 ditunjukkan penyisihan dengan aliran permukaan. Nitrogen total disisihkan dengan baik di kedua macam aliran dan penyisihan tersebut tidak berbeda nyata menurut hasil analisis statistik.



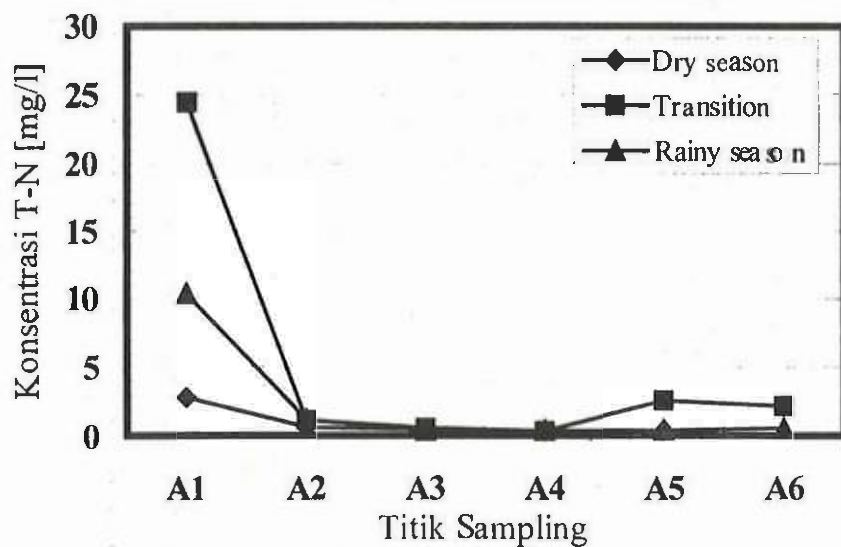
Gambar 1. Lahan basah buatan untuk mengolah air limbah laboratorium kimia.



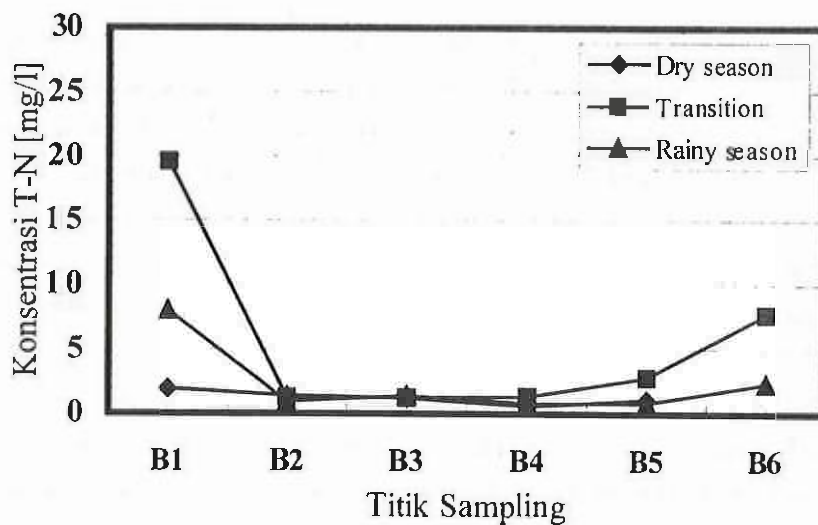
Gambar 2. Penyisihan COD di dalam lahan basah buatan beraliran bawah permukaan.



Gambar 3. Penyisihan COD di dalam lahan basah buatan beraliran permukaan.



Gambar 4. Penyisihan nitrogen total di dalam lahan basah buatan beraliran bawah permukaan.



Gambar 5. Penyisihan nitrogen total di dalam lahan basah buatan beraliran permukaan.

#### Lahan Basah Buatan untuk Meningkatkan Kualitas Kesehatan Lingkungan

Lahan basah buatan yang digunakan untuk mengolah air tercemar, selain berfungsi dalam menyisihkan pencemar juga berperan dalam mereduksi penyebab penyakit yang diperantarai oleh air seperti virus, bakteri patogen seperti *Eschericia coli* dan Coliform, serta cacing dan telur-telurnya. Oleh karena itu lahan basah buatan juga dapat meningkatkan kesehatan masyarakat.

Organisme patogen seperti bakteri, virus, dan parasit (cacing, telur) disisihkan dengan cara filtrasi, pemangsaan, sedimentasi, radiasi Ultra Violet, dan terkena antibiotik yang dikeluarkan oleh tanaman.

Kekuatiran lahan basah buatan dapat berdampak menjadi tempat berkembangnya nyamuk dapat diatasi dengan membuat desain lahan basah buatan yang mencegah berkembangbiaknya dan pemilihan jenis tanaman yang dapat menghalangi pertumbuhan nyamuk. Namun kekuatiran ini tidak beralasan karena lahan basah buatan adalah sistem yang terkontrol, sehingga lebih mudah mengontrol pertumbuhan nyamuknya dari pada membiarkan perairan yang tercemar sebagaimana adanya. Perairan tercemar yang tidak diperbaiki akan menjadi sumber penyakit yang lebih berbahaya.

#### Kegunaan Lain Lahan Basah Buatan

Lahan basah buatan adalah pengolah yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan

senyawa kimia yang dapat menyebabkan efek samping. Sebaliknya karena menggunakan mikroorganisme dan tumbuhan, lahan basah buatan ini dapat menjaga keanekaragaman hayati dan bernilai estetis disamping fungsi utamanya meningkatkan kualitas air. Lahan basah buatan berskala besar akan menjadi tempat tinggal, tempat mencari makan, dan berbiak bagi berbagai jenis hewan antara lain ikan dan burung air. Disamping itu lahan basah buatan dapat menyejukkan daerah di sekitarnya, menjadi tempat penampungan banjir pada musim hujan dan sumber air pada musim kemarau sekaligus tempat rekreasi karena keindahan pemandangannya.

Lahan basah buatan mempunyai fungsi sosial karena merupakan tempat yang sesuai untuk pendidikan masyarakat dalam meningkatkan kesadaran terhadap lingkungan (diselenggarakan oleh/bagi sekolah-sekolah, perguruan tinggi, dan Lembaga Swadaya Masyarakat) dan turut membantu memperbaiki kualitas kesehatan lingkungan masyarakat. Selain itu, merupakan tempat yang sesuai untuk berbagai penelitian antara lain penelitian biologis/pertanian (biodiversity, perikanan), penelitian geologis/kimia (siklus biogeokimia, sedimentasi, air tanah), penelitian fisika (filterisasi), penelitian lingkungan (kualitas air), dan lain-lain.

#### **Tahapan Pembuatan Lahan Basah Buatan**

Rancangan lahan basah buatan sangat tergantung dari jenis air limbah yang akan diolah dan apa tujuan utamanya, misalnya menghilangkan senyawa organik. Pertama kali harus diketahui berapa debit air yang akan diolah dan berapa konsentasi minimum dan konsentrasi maksimum bahan pencemar. Berapa konsentrasi aliran buangan (*effluen*) yang diinginkan? Apakah limbah berfluktuasi? Apakah limbah terus-menerus (kontinyus)? Selain itu diperlukan informasi lain seperti keadaan fisik limbah, seperti warna, suhu, dan sebagainya.

Setelah diketahui karakter air limbah yang akan diolah, dihitung lebar dan luas lahan yang diperlukan. Semakin kecil konsentrasi efluen yang diinginkan semakin luas atau semakin lama HRT (waktu tinggal) air limbah di dalam lahan basah buatan. Kemudian dirancang substrat yang diperlukan untuk mengolah air limbah dan jenis aliran yang diterapkan, hal ini sangat berkaitan dengan efisiensi lahan basah buatan.

Informasi yang diperlukan selanjutnya adalah lahan yang tersedia dan jenis tanah, bagaimana tingkat porositasnya, dan sebagainya. Pemilihan tumbuhan diperlukan untuk mendapatkan efisiensi yang diinginkan, karena itu diperlukan informasi tumbuhan jenis tumbuhan setempat yang dapat digunakan di dalam lahan basah buatan. Berapa banyak kolam yang diperlukan, jenis kolam yang diterapkan, dan jenis perlakuan sebelum memasuki lahan basah buatan, sangat bergantung dari karakter air limbah. Semakin lengkap dan detail informasi mengenai karakter air limbah yang diberikan, akan semakin mudah merancang lahan basah buatan yang sesuai dengan fungsi yang diinginkan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Hammer, D. A. (ed.) (1989). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment-Municipal, Industrial, and Agricultural*. Lewis Publishers, Chelsea, MI.
- Knight, R. L. (1992). Ancillary Benefits and Potential Problems With the Use of Wetlands for Nonpoint Source Pollution Control. *Ecological engineering* 1:97-113.
- Martin C. D. and Johnson K. D. (1995). The use of extended aeration and in-series surface flow wetlands for landfill leachate treatment. *Wat. Sci Tech*, 32(3), 119-128.
- Meutia, A. A. (2000) Treatment of laboratory wastewater in Subsurface and Surface Flows of Tropical Constructed Wetlands. 7<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water pollution Control 1357-1364.
- Meutia, A. A., E. Ariestanti, K. Nasution, Sugiarti, and E. Mulyana (2001) Nitrogen and Phosphorus Removal by Small Scale Tropical Constructed Wetland. *Asia-Pacific Workshop on Ecohydrology* 24.