

## Deskripsi

### **METODE KULTIVASI BIOMASSA MAKROALGAE MENGGUNAKAN *EFFLUENT* DARI TIGA LANGKAH PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK**

5

#### **Bidang Teknik Invensi**

Invensi ini berhubungan dengan metode (proses) dan produk  
10 (media) untuk menumbuhkan makroalgae yang berpotensi sebagai  
biomassa untuk memproduksi bahan bakar nabati (bioetanol dan  
biodiesel) dengan menggunakan *effluent* dari hasil pengolahan air  
limbah domestik. Lebih khusus lagi, air limbah domestik diolah  
melalui tiga tahap pengolahan, yaitu pengolahan pada *Anaerobic*  
15 *Baffled Reactor* (ABR), *Constructed wetland* (CW) dan bak  
pengendap.

#### **Latar Belakang Invensi**

Kultivasi algae menjadi salah satu strategi mitigasi CO<sub>2</sub>  
20 yang menarik perhatian selama beberapa tahun terakhir, karena  
berpotensi menghasilkan energi berbasis biomassa dari proses  
fiksasi CO<sub>2</sub> melalui fotosintesis (Brune et al., 2009). Algae  
merupakan mikroorganisme uniseluler dengan kemampuan tumbuh yang  
cepat. Efisiensi algae dalam memfiksasi CO<sub>2</sub> mencapai 10-50 kali  
25 lebih besar jika dibandingkan dengan tanaman terrestrial. Oleh  
karena itu biomassa algae berguna sebagai substrat untuk  
memproduksi biodiesel, pakan akuakultur, suplemen makanan,  
produk-produk farmasi serta komponen bioaktif yang bernilai  
tinggi lainnya (Makareviciene et al., 2011).

30 Saat ini beberapa permasalahan masih menjadi tantangan  
untuk mengupayakan agar kultivasi algae menjadi lebih ekonomis.  
Sebagai contoh biaya yang cukup tinggi harus dialokasikan untuk  
pemenuhan kebutuhan pasokan air bersih dan pupuk (nutrisi) untuk  
pertumbuhan algae. Biaya yang cukup tinggi masih menjadi salah  
35 satu pertimbangan untuk meningkatkan nilai ekonomi dan  
keberlanjutan produksi algae pada skala industri (Acien et al.,

2012). Oleh karena itu, salah satu strategi penting yang tengah dipelajari dan dikembangkan saat ini adalah dengan mengintegrasikan pengolahan air limbah domestik dan kultivasi algae secara bersamaan. Cara tersebut diyakini menjadi salah satu langkah strategis dan invensi teknologi sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut (Park et al., 2011; Rawat et al., 2011).

Kultivasi dan pemanfaatan biomassa algae sebagai penghasil biofuel dengan menggunakan substrat air limbah domestik berpotensi menjadi salah satu upaya dalam menurunkan biaya kultivasinya. Effluent hasil pengolahan air limbah domestik telah mengalami perubahan komposisi selama proses fermentasi anaerobik pada ABR dan degradasi lebih lanjut pada CW, diantaranya: senyawa karbon dan nutrisi yang tersedia menjadi lebih mudah digunakan oleh algae untuk pertumbuhannya, kadar partikel padat tersuspensi menjadi lebih rendah (lebih jernih), sehingga penetrasi cahaya lebih optimal untuk proses fotosintesis algae dibandingkan dengan air limbah domestik yang belum diolah, mikroorganisme predator dan bakteri patogen kompetitor algae menurun, kondisi tersebut sangat mendukung pertumbuhan algae.

Berkaitan dengan invensi ini, telah dilakukan beberapa penelusuran paten US, berdasarkan paten US berikut ini: WO 2014083534 A1 telah diklaim invensi tentang metode kultivasi algae mixotrof berupa pengembangan strain algae hasil mutasi, selanjutnya pada media kultivasi dilakukan penambahan ekstrak tanaman, kultivasi dilakukan secara open pond (Kumar et al, 2013). Selain itu, paten lainnya yang berhubungan dengan metode kultivasi algae adalah paten US20120028338, pada paten tersebut diklaim metode untuk menumbuhkan algae dalam bentuk kultur campuran dengan menggunakan air limbah industri, dan metode untuk menumbuhkan biomassa untuk menghasilkan biofuel. Invensi ini memiliki kekhususan yang berbeda dengan yang dilakukan oleh beberapa peneliti lainnya, seperti yang dilakukan oleh Yu et al., 2012, dimana mereka mengkaji kinerja dan stabilitas ABR dalam mengolah air dari Danau Taihu yang

mengandung algae, serta mengaplikasikan *granular sludge* untuk meningkatkan kinerja ABR sedangkan invensi ini tidak menggunakan *granular sludge*. Selanjutnya Faiza et al., 2009, walaupun tehniknya sama-sama menggunakan ABR dan CW namun diaplikasikan untuk tujuan yang berbeda (invensi ini diperuntukan untuk media kultivasi alga).

Invensi yang diajukan ini meliputi pembuatan media kultivasi makroalgae dengan menggunakan effluent dari hasil pengolahan air limbah domestik untuk memproduksi biomassa makroalga yang berpotensi sebagai penghasil biofuel.

### **Uraian singkat invensi**

Tujuan dari invensi ini adalah untuk pembuatan media makroalgae dengan menggunakan effluent dari hasil pengolahan air limbah domestik; air limbah tersebut diolah menggunakan tiga tahapan berupa ABR, CW dan pengendapan. Proses pembuatan media untuk penumbuhan makroalgae dari limbah cair domestik terdiri atas:

- a) Melakukan pre-fermentasi air limbah domestik segar secara anaerob pada drum tertutup selama 24 jam;
- b) Memompakan air limbah yang telah dipre-fermentasi pada tahap a ke dalam bioreaktor ABR secara kontinyu;
- c) Melakukan proses pengolahan air limbah secara anaerob di dalam ABR (pengolahan primer);
- d) Melakukan proses pengurangan kadar nutrisi dari *effluent* ABR dengan memompakan *effluent* ke dalam kolam CW;
- e) Mengalirkan *effluent* dari kolam CW ke kolam pengendapan;
- f) Memisahkan air dari kolom pengendapan.

Disamping itu juga diungkapkan penggunaan media air yang dihasilkan dari proses di atas untuk kultivasi makroalgae.

### **Uraian Singkat Gambar**

Gambar 1 merupakan diagram alir proses pengolahan air limbah domestik untuk menghasilkan media kultivasi makroalgae.

## Uraian Lengkap Invensi

Uraian lengkap mengenai invensi yang dikembangkan tentang metode kultivasi algae menggunakan media effluent hasil pengolahan air limbah domestik menggunakan tiga tahapan berupa ABR, CW dan bak pengendap. Merujuk pada Gambar 1, invensi ini akan dijelaskan secara lebih rinci tentang tahapan pembuatan media dimaksud.

### 10 (a) Tahap pertama

Air limbah domestik segar di simpan pada drum plastik pada temperatur ruang selama 24 jam sebelum digunakan (Gambar 1 angka 1). Penyimpanan ini dimaksudkan untuk menguraikan material organik pada air limbah. Material organik tersebut dapat terurai menjadi *volatile fatty acids* (VFAs). *Volatile fatty acids* dapat mencakup antara lain acetat, propionate, isobutyrate, valerate dan lain-lain. Material organik tersebut penting sebagai sumber karbon bagi pertumbuhan mikroorganisme yang berperan dalam mengolah air limbah pada tahapan di ABR (Gambar 1 poin 2), ketersediaan tersebut bisa mengurangi kebutuhan sumber karbon yang harus ditambahkan untuk memacu aktivitas mikroorganisme. Pengolahan air limbah pada invensi ini tidak menggunakan tambahan bahan kimia lain selama proses berlangsung;

Selanjutnya memompakan air limbah yang telah dipre-fermentasi pada tahap a ke dalam bioreaktor ABR secara kontinyu (Gambar 1, poin 2); sistim kontinyu dipilih dengan alasan sebagai sistem yang sesuai bila diaplikasikan pada skala besar (sebagai contoh sistim kontinyu dapat mengurangi kebutuhan energi untuk keperluan pemompaan air).

ABR yang dimaksud pada klaim 1 point b terdiri dari 6 kompartemen yang didesain dengan tujuan untuk mencukupi waktu retensi untuk menguraikan material organik pada sistem ABR; Lumpur aktif yang digunakan pada bioreaktor ABR diambil dari lumpur pada dasar kolam retensi yang telah terdedah limbah domestik selama bertahun tahun, lumpur tersebut selanjutnya diadaptasikan selama dua minggu pada ABR sebelum digunakan agar

mikroorganisme yang terdapat di dalamnya dapat tumbuh dengan baik pada lingkungan yang baru; Lumpur aktif sebagai biomassa awal yang digunakan pada masing-masing kompartemen adalah 5-6 g/L (*mixed liquor*). Nilai tersebut mengikuti besaran biomassa lumpur aktif untuk pengolahan air limbah domestik yang digunakan pada proses pengolahan air limbah domestik menggunakan aerobik granular sludge (Verawaty, et al., 2010).

(b) Selanjutnya melakukan proses pengurangan kadar nutrien dari *effluent* ABR dengan memompakan *effluent* ke dalam kolam CW, tahap ini bertujuan untuk menurunkan kadar nutrient (N dan P) yang masih tersisa dari proses anaerobik (ABR), tahap pengolahan sekunder pada CW yang bersifat aerobik dan anaerobik (adanya sirkulasi dan penggunaan tanaman air) memungkinkan terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi serta akumulasi P baik oleh mikroorganisme maupun tanaman air; Waktu retensi pada proses pengolahan pada CW yaitu selama 24 jam. Kolam CW yang digunakan pada invensi ini menggunakan free surface CW, komposisi CW terdiri dari: (a) dasar kolam diberi batu kapur dengan diameter 5-7 cm, lapisan kedua batu kapur dengan diameter 1-3 cm, lapisan ketiga adalah batu koral dengan diameter 0,5-1 cm, sedangkan bagian paling atas berupa pasir. Tanaman yang digunakan adalah jenis *Eichornia crassipes*. Invensi utama pada kolam ini adalah outlet dari CW yang menuju ke kolam pengendapan di tempatkan pada bagian dasar kolam dan bukan pada bagian atas.

(c) Selanjutnya *effluent* dari CW dialirkan ke bak pengendap, hasil olahan akhir (*effluent*) dari bak pengendap selanjutnya digunakan untuk media kultivasi algae. Setelah adanya pengolahan air limbah pada tahap ketiga, *effluent* yang dihasilkan telah memiliki kualitas yang baik dengan tingkat kejernihan yang tinggi, kadar partikel suspended solid yang rendah, konsentrasi mikroba patogen yang rendah dan kandungan nutrien yang mendukung pertumbuhan algae.

(d) Selanjutnya air hasil olahan tersebut digunakan untuk kultivasi algae, Proses kultivas makroalgae dilakukan melalui tahapan berikut ini: Penyiapan bibit makroalgae; Penyiapan medium tumbuh berupa *effluent* dari tahap 1 (klaim 1), Proses

kultivasi dilakukan dengan meletakkan 1 gram makroalgae (berat basah) ke dalam 1 L media tumbuh, kultivasi algae secara open pond, dimana proses fotosintesis algae menggunakan sinar matahari secara langsung dan fiksasi CO<sub>2</sub> dari atmosfer.

5 Makroalgae mencapai fase pertumbuhan logaritmik setelah masa kultivasi 17 - 22 hari pada komposisi perbandingan berat basah bibit algae dan media cair 1:1000 (g/ml). Pemanenan biomassa dilakukan dengan menggunakan saringan (diameter mesh 1 mm). Selanjutnya dilakukan pengukuran berat basah dan kering biomassa

10 dan kadar klorofil algae yang telah dipanen untuk mengetahui produktivitasnya. Selanjutnya biomassa algae yang telah kering, dihaluskan dengan blender sampai halus. Kemudian di ekstraksi lipidnya dan di analisis kandungannya. Biomassa yang tumbuh pada fase logaritmik berada pada kondisi yang baik untuk diekstraksi

15 lipidnya sebagai bahan baku biodiesel.

### **Contoh percobaan**

Air limbah domestik ditampung di dalam drum dan dipre-fermentasi selama 24 jam. Selanjutnya diolah melalui 3 tahapan yaitu

20 pengolahan primer pada ABR, sekunder pada CW, dan bak pengendap, selanjutnya air hasil pengolahan digunakan sebagai media untuk pertumbuhan makroalgae. Percobaan ini dioperasikan selama 60 hari. Satu kali proses di tampung air limbah domestik sebanyak 150 L dengan waktu retensi 24 jam, diperoleh effluent sekitar

25 95-100 L yang selanjutnya digunakan untuk kultivasi algae. Berikut hasil dari percobaan: Karakteristik air limbah domestik selama percobaan COD ( $300.5 \pm 7.8$  mg/L); ammonia ( $2.16 \pm 0.6$  mg/L), pH  $7.7 \pm 0.3$  and TSS ( $300 \pm 10$  mg/L). Setelah melalui proses pengolahan, kinerja dari sistem tersebut yaitu:

30 menurunkan kadar COD sebanyak ( $87.9 \pm 1.9$  %), dengan parameter TSS ( $83.5 \pm 3.5$  mg/L); ammonia ( $0.51 \pm 0.10$  mg/L) and pH ( $6.9 \pm 0.3$ ).

Pemanfaatan air hasil pengolahan air limbah domestik sebagai

35 media tumbuh alga

Jenis makroalgae yang digunakan adalah *Oedogonium sp* dan *Cladophora sp*. Media yang berasal dari effluent seperti pada Klaim 1, di ambil sebanyak 1 L dan dimasukkan ke dalam wadah kultivasi algae yang berukuran 5-L. Sebanyak 1 g (berat basah) bibit algae di sebar dipermukaan media tumbuh tersebut, selanjutnya ditumbukan diruang terbuka, sebagai pembanding digunakan media air PDAM tanpa suplementasi, dan air PDAM yang diberi tambahan media Bold Basal Medium (BBM) sebanyak 10% (v/v). Pertumbuhan diukur dengan menimbang berat basah dan berat kering (biomassa alga disaring pada kertas filter dan di oven pada temperature 40°C sampai diperoleh berat yang stabil). Selanjutnya dilakukan pengukuran kadar klorofil dengan cara makroalgae dipanen dengan saringan ikan dan ditimbang sebanyak 1 g, selanjutnya dihaluskan dengan mortar dan dicampur dengan ethanol 96% sebanyak 5 mL, filtratnya diambil dan dilarutkan dalam 96% ethanol hingga terbentuk 100 mL larutan. Selanjutnya kadar klorofil diukur pada panjang gelombang 649 nm dan 665 nm). Kandungan klorofil dihitung mengikuti cara yang dikembangkan oleh Wintermans and De Mots, yaitu dihitung menggunakan rumus (1) - (3) berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Chlorophyll a} &= 13,7 \text{ (D-665)} - 5,76 \text{ (D-649)} \text{ ppm (1)} \\ \text{Chlorophyll b} &= 25,8 \text{ (D-649)} - 7,60 \text{ (D-665)} \text{ ppm (2)} \\ \text{Chlorophyll total} &= 20,0 \text{ (D-649)} + 6,10 \text{ (D-665)} \text{ ppm (3)} \end{aligned}$$

**HASIL**  
 Hasil yang diperoleh dari percobaan tersebut dirangkum pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Berat basah dan berat kering makroalgae yang dikultivasi menggunakan empat jenis medis yang berbeda.

Media kultivasi	<i>Oedogonium sp</i>		<i>Cladophora sp</i>	
	Berat basah (g/L)	Berat kering (g/L)	Berat basah (g/L)	Berat kering (g/L)
Air PDAM (kontrol)	8,01	0,9	5,0	0,6
Air PDAM + BBM	13,5	1,6	9,1	1,1
Effluent + BBM	20,8	2,4	17,8	2,1
Effluent	14,2	1,7	15,7	1,9

Berat basah dan berat kering alga yang ditumbuhkan menggunakan media hasil invensi ini berkisar 14,2-15,7 g/L; hasil tersebut sedikit lebih rendah dibandingkan dengan effluent yang diberi tambahan media BBM (17,8-20,8 g/L), dan sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan alga yang ditumbuhkan pada air PDAM+BBM (10%) yaitu (9,1-13,5 g/L). Hal ini menunjukkan air limbah yang diolah melalui invensi ini ketika dimanfaatkan untuk kultivasi alga akan mampu/berpotensi mengurangi biaya pasokan air bersih (PDAM) dan juga pupuk (media BBM) yang diperlukan untuk menumbuhkan biomassa alga.

Tabel 2. Kadar lipid, kadar klorofil masing-masing makroalga yang ditumbuhkan pada empat jenis media yang berbeda.

<b>Spesies Algae</b>	<b>Media Kultivasi</b>	<b>Kadar Lipid (%) per berat kering</b>	<b>Kadar chlorophyll (ppm)</b>
<i>Oedogonium sp</i>	Air PDAM (kontrol)	3.75	35.15
	Air PDAM + BBM	5.25	50.19
	Effluent + BBM	6.90	53.23
	Effluent	6.25	52.42
<i>Cladophora sp</i>	Air PDAM (kontrol)	3.75	33.31
	Air PDAM + BBM	4.25	51.90
	Effluent + BBM	6.75	53.21
	Effluent	6.25	51.43

Selanjutnya, kadar lipid dan kadar klorofil yang dihasilkan dari biomassa alga yang ditumbuhkan menggunakan media yang dihasilkan dari invensi ini memiliki kadar lipid (%) per gram berat kering biomassa yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan biomassa alga yang sama ketika ditumbuhkan pada air PDAM baik tanpa maupun diberi tambahan pupuk (Media BBM). Kadar klorofil yang dihasilkan juga tidak berbeda dengan media yang diberi tambahan pupuk (media BBM); hal ini menunjukkan media hasil invensi ini ketika digunakan tidak mengurangi kandungan lipid dan klorofil dari alga.



Tabel 3. Jenis dan kandungan asam lemak dari biomassa *Oedogonium sp* yang dianalisis menggunakan GC MS

Waktu Retensi (min)	ID/library	Abundance/area (%)
29.67	Eicosapentaenoic acid	7.85
29.75	Hexadecenoic acid	6.05
30.14	Palmitic acid	16.05
30.70	Cetylic acid	3.30
32.88	Octadodecanoic acid	11.26
33.04	Linolenic acid	19.99
33.50	Stearic acid	1.29

Kandungan asam lemak yang dimiliki alga *Oedogonium sp* yang dikultivasi pada media hasil invensi ini dan hasil analisisnya menggunakan GC MS ditunjukkan pada Tabel 3. Asam linoleat, palmitat dan oktadekanoat presentasenya lebih dari 10%.

**Klaim**

1. Proses pembuatan media untuk penumbuhan makroalgae dari limbah cair domestik yang terdiri atas:
  - 5 a) Melakukan pre-fermentasi air limbah domestik segar secara anaerob pada drum tertutup selama 24 jam;
  - b) Memompakan air limbah yang telah dipre-fermentasi pada tahap a ke dalam bioreaktor ABR secara kontinyu;
  - c) Melakukan proses pengolahan air limbah secara anaerob di  
10 dalam ABR (pengolahan primer);
  - d) Melakukan proses pengurangan kadar nutrisi dari *effluent* ABR dengan memompakan *effluent* ke dalam kolam CW;
  - e) Mengalirkan *effluent* dari kolam CW ke kolam pengendapan;
  - f) Memisahkan air dari kolom pengendapan.
- 15 2. Media untuk penumbuhan makroalgae sebagaimana yang diklaim dalam klaim 1.

Abstrak**METODE KULTIVASI BIOMASSA MAKROALGAE MENGGUNAKAN EFFLUENT DARI  
TIGA LANGKAH PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK**

5

Invensi ini berhubungan dengan metode untuk menghasilkan media kultivasi makroalgae; lebih khusus lagi metode pengolahan limbah cair domestik untuk media kultivasi algae dilakukan melalui tiga tahap yang terdiri dari: (a) tahap pertama menggunakan ABR (b) tahap kedua menggunakan CW dan (c) tahap ketiga menggunakan bak pengendap. Lebih rinci pengolahan air limbah domestik, dilakukan melalui langkah-langkah: Pre-fermentasi air limbah domestik segar pada drum tertutup selama 24 jam sebelum diolah pada tahap pertama (ABR); Adaptasi lumpur aktif dilakukan selama dua minggu sebelum digunakan pada ABR, massa lumpur aktif sebagai biomassa awal yang digunakan pada masing-masing kompartemen adalah 5-6 g/L (mixed liquor); Pengolahan tahap pertama pada ABR yang memiliki enam kompartemen, air limbah diolah dengan sistem kontinyu dengan waktu retensi 24 jam; Pengolahan tahap kedua pada Kolam CW, tanaman yang digunakan adalah jenis *Eichornia crassipes*; invensi utama pada bak pengendap tambahan adalah outlet dari CW yang menuju ke bak pengendap tambahan di tempatkan pada bagian dasar kolam dan bukan pada bagian atas; Media kultivasi makroalgae menggunakan effluent hasil tiga tahap pengolahan limbah cair domestik; Masa kultivasi makroalgae untuk biomassa penghasil lipid mencapai fase logaritmik adalah selama 17 - 22 hari; Untuk kultivasi tersebut dibutuhkan komposisi perbandingan berat basah bibit algae dan media cair 1:1000 (g/ml).

30

Gambar 1.

