

EFISIENSI PEMISAHAN MIKROALGA DARI MEDIA TUMBUH LIMBAH CAIR AGROINDUSTRI DENGAN MENGGUNAKAN KOAGULASI/FLOKULASI

EFFICIENCY OF COAGULATION/FLOCCULATION PROCESS FOR MICROALGAL SEPARATION FROM AGROINDUSTRIAL WASTEWATER

Suprihatin*, Muhammad Romli, dan Andes Ismayana
Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
Jl. Raya Darmaga Kampus IPB Darmaga Bogor 16680
***e-mail: suprihatin@indo.net.id**

Abstrak

Pemanenan mikroalga merupakan faktor penting dalam produksi alga karena menentukan biaya produksi. Penelitian ini mengevaluasi efisiensi pemisahan mikroalga dari air limbah agroindustri oleh koagulasi kimia/flokulasi. Efisiensi penggunaan alumuniumtrisuльфate (tawas) dan polyaluminiumchloride (PAC) untuk koagulasi/flokulasi proses dievaluasi dalam serangkaian jar test untuk pemisahan mikroalga tumbuh di rumah buatan dan air limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroalga dapat dipisahkan dari air limbah secara efisien dengan metode flokulasi/koagulasi. Efisiensi pemisahan bergantung pada jenis dan dosis koagulan dan karakteristik media di mana mikroalga ditumbuhkan. Sekitar 400 g/L tawas atau 200 mg/L PAC dapat menghasilkan pemisahan optimum mikroalga yang tumbuh di rumah jagal pada air limbah. Sedangkan untuk pemisahan mikroalga tumbuh dalam air limbah buatan diperlukan dosis tawas relatif lebih tinggi dari dosis 600 mg / L atau PAC dari 400 mg / L. Nilai-nilai kekeruhan, warna, dan total padatan tersuspensi dalam efluen sangat rendah. Hal ini menyebabkan kemungkinan daur ulang limbah untuk digunakan kembali.

Kata kunci: pemanenan mikroalga, air limbah rumah potong, koagulasi, flokulasi, tawas, PAC

Abstract

Microalgae harvesting is a crucial factor in algal production because it influences the production cost. This work evaluated the efficiency of microalgae separation from agroindustrial wastewater by chemical coagulation/flocculation. The efficiency of alumuniumtrisuльфate (alum) and polyaluminiumchloride (PAC) applications for coagulation/flocculation process was evaluated in a series of jar test for separation of microalgae in artificial and slaughterhouse wastewater. The xperimental results showed that microalgae could be separated efficiently from the wastewater by flocculation/coagulation method. The separation efficiency depended on the type and dose of coagulant and characteristics, where microalgae was grown. Dosing of approximately 400 g/L alum or 200 mg/L PAC resulted in optimum separation of microalgae in slaughterhouse wastewater, whereas separation of microalgae in the artificial wastewater required relatively higher alum dose of 600 mg/L, or PAC dose of 400 mg/L. Turbidity, color, and total suspended solids values in the effluent were very low. This lead to the possibility of effluent recycling for reuse.

Keywords: microalgae harvesting, slaughterhouse wastewater, coagulation, flocculation, alum, PAC

1. PENDAHULUAN

Mikroalga merupakan jasad renik jenis tanaman dan mampu membentuk *triacylglycerols* (TAGs) dari karbondioksida dan air melalui fotosintesis menggunakan energi matahari. Bahan yang terbentuk ini dapat digunakan untuk menghasilkan berbagai bahan kimia, seperti *Fatty Acid Methyl Ester* (FAMES) yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biodiesel. Mikroalga pada saat ini menjadi salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang menjanjikan. Mikroalga memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan jenis tanaman lainnya (Avagyan, 2008; Chisti, 2007), yaitu: (1) produktivitas tinggi karena waktu generasi hanya dalam satuan jam atau hari, (2) tidak memerlukan lahan subur sehingga tidak berkompetisi dengan tanaman pangan, (3) dapat dikombinasikan untuk pengelolaan lingkungan (daur ulang nutrisi, konservasi air, dan biofiksasi karbon dioksida/reduksi emisi gas rumah kaca), (4) efisien dalam penyerapan energi surya, dan (5) biomassa mengandung bahan-bahan bernilai tinggi seperti protein, minyak/lemak, vitamin, mineral, pigmen, β -karotin, bahan aktif, dan serat, yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan (Pedroni dan Banemann, 2003; Suprihatin, 1989; Garcea *et al.*, 2000; Shelef and Ozoz, 2000). Kondisi iklim dan geografis Indonesia, seperti: intensitas sinar matahari sepanjang tahun, temperatur udara relatif tinggi, dan ketersediaan lahan juga mendukung aplikasi sistem ini. Oleh karena dapat dipanen dalam

kurun waktu satuan hari, produktivitas mikroalga jauh lebih tinggi dibandingkan dengan jenis tanaman penghasil minyak lainnya. Tabel 1 menunjukkan perbandingan produktivitas minyak dari berbagai sumber biodiesel dari tanaman.

Dalam konteks pengelolaan lingkungan, produksi mikroalga dengan medium limbah cair merupakan metode untuk memperoleh kembali nutrisi karena mikroalga menggunakan bahan tersebut untuk sintesis sel dengan menggunakan energi matahari dalam suatu proses fotosintesis. Eliminasi nutrisi dari limbah cair oleh mikroalga dapat mencegah terjadinya eutrofikasi di badan air penerima. Di sisi lain, oksigen yang dihasilkan selama proses fotosintesis dapat mendukung pertumbuhan bakteri aerobik. Dengan demikian, penggunaan mikroalga dalam pengolahan limbah cair memberikan manfaat lingkungan dan manfaat ekonomi (biomassa mikroalga).

Sistem produksi mikroalga pada dasarnya terdiri atas proses kultivasi mikroalga dan proses pemisahan/pemanenan biomassa mikroalga. Proses kultivasi mikroalga merupakan proses biologis (pertumbuhan biomassa, pengambilan unsur hara, laju degradasi polutan). Sedangkan pemisahan biomassa mikroalga merupakan proses fisika. Oleh karena kinerja sistem ini secara keseluruhan ditentukan oleh kedua tahap tersebut, optimasi sistem produksi mikroalga perlu dilakukan pada kedua sub-sistem tersebut.

Tabel 1. Perbandingan Produktivitas Minyak Dari Berbagai Sumber Biodiesel

No.	Jenis tanaman	Produktivitas minyak (L/ha)	Kebutuhan lahan relatif
1	Jagung	172	342
2	Kedele	446	132
3	Kanola	1.190	50
4	Jatrofa (jarak pagar)	1.892	31
5	Kelapa	2.689	22
6	Kelapa sawit	5.950	10
7	Mikroalga:		
	- Kadar minyak 70%	136.900	0,4
	- Kadar minyak 30%	58.700	1

Sumber: Modifikasi dari Chisti (2007) dan Gheynst (2008)

Teknik pemisahan mikroalga hingga saat ini masih menjadi tantangan utama dalam aplikasi produksi mikroalga dan menjadi prioritas dalam berbagai program penelitian dan pengembangan (Van Harmelen dan Oonk, 2006; Heubeck dan Craggs, 2007; Banemann, 2003). Hal ini karena biaya untuk pemisahan mikroalga merupakan porsi yang signifikan dalam sistem produksi mikroalga (Chisti, 2007).

Ada berbagai alasan teknik pemisahan mikroalga masih menjadi masalah dalam produksi mikroalga. Di antara alasan tersebut adalah: kultur mikroalga umumnya sangat encer (jarang lebih dari 500 mg/L), densitas biomassa mikroalga mendekati nilai densitas air dan bervariasi, sel mikroalga berukuran kecil (biasanya kurang dari 20 μm , kadangkala kurang dari 5 μm , dan beberapa jenis sel mikroalga bersifat motil (Heubeck dan Craggs, 2007). Kondisi tersebut menyebabkan pemisahan mikroalga sulit dilakukan dengan metode yang sederhana, seperti sedimentasi.

Sentrifugasi merupakan metode pemisahan mikroalga yang telah banyak dikenal. Operasi ini dapat memisahkan hingga lebih dari 95% mikroalga. Akan tetapi, metode ini mengkomsumsi energi dalam jumlah besar (Heubeck dan Craggs, 2007; Schenk *et al.*, 2008). Pemisahan mikroalga juga dapat dilakukan dengan menggunakan membran mikro- dan ultrafiltrasi. Hasil penelitian (Suprihatin, Romli, dan Ismayana, 2003) menunjukkan bahwa mikroalga dapat dipisahkan secara sempurna (100%) dengan menggunakan membran mikro- dan ultrafiltrasi. Membran mikrofiltrasi mampu menghasilkan permeat dengan warna dan kekeruhan masing-masing 19 PtCo dan 3 NTU, sedangkan membran ultrafiltrasi mampu menghasilkan permeat dengan warna dan kekeruhan masing-masing 2 PtCo dan 1,6 NTU. Permeat yang dihasilkan bebas dari partikel (termasuk mikroalga dan bakteri) sehingga memungkinkan untuk didaur-ulang. Kelemahan teknik membran adalah masih

terbatasnya ketersediaan membran dengan harga yang terjangkau untuk pemisahan mikroalga.

Koagulasi/flokulasi merupakan alternatif metode mikroalga yang relatif sederhana. Proses ini dapat mendorong terbentuknya agregat mikroalga berukuran lebih besar sehingga dapat dipisahkan secara mudah dengan pengendapan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas metode koagulasi/flokulasi untuk pemisahan mikroalga dari medium tumbuh limbah cair agroindustri. Meskipun metode koagulasi/flokulasi telah lama dikenal, tetapi laporan tentang kinerja metode koagulasi/flokulasi untuk pemisahan mikroalga dari medium limbah cair agroindustri (limbah cair rumah potong) yang disertai dengan aspek biaya belum banyak dilaporkan. Oleh karena itu, informasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam kajian atau aplikasi proses produksi mikroalga secara komersial.

2. METODA

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah suspensi mikroalga yang ditumbuhkan dalam limbah cair rumah pemotongan hewan (RPH), limbah cair s-intetik, koagulan alum dan PAC, serta bahan untuk analisis laboratorium. Limbah cair sintetik disiapkan dari air bersih yang ditambahkan dengan pupuk NPK hingga kadar fosfor mendekati kadar fosfor limbah cair RPH. Alat utama untuk penelitian ini adalah *jar test*, dan spektrofotometer HACH model DR 2000.

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Oktober-November 2009 di Laboratorium Teknik dan Manajemen Lingkungan Industri, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Metode

Flokulasi/koagulasi suspensi mikroalga dilakukan dengan metode standar *jar test* menggunakan koagulan alum dan PAC. Sampel dimasukkan ke dalam 5 buah gelas piala 1000 mL, masing-masing sebanyak 500 mL. Gelas piala berisi sampel tersebut diletakkan ke dalam wahana *jar test*, kemudian *impeller* dimasukkan secara perlahan ke dalam gelas kimia dalam posisi terendam oleh sampel. Setelah itu disiapkan sebanyak 5 seri dosis koagulan (alum atau PAC) pada wadah lain, kemudian dimasukkan secara bersama-sama ke dalam masing-masing gelas kimia berisi sampel.

Penelitian koagulasi terdiri atas tahapan pengadukan awal (1 menit) untuk menghomogenkan sampel di dalam gelas kimia, penambahan koagulan dan pengadukan cepat (120 rpm, 5 menit) untuk pencampuran merata antara koagulan dan suspensi mikroalga, pengadukan lambat (30 rpm, 15 menit) untuk membentuk flok berukuran lebih besar, dan pengendapan (0 rpm, 30 menit) untuk memberikan kesempatan flok yang terbentuk mengendap. Supernatan hasil flokulasi/koagulasi kemudian diambil dan dilakukan pemeriksaan terhadap parameter *Total Suspended Solids* (TSS), kekeruhan, serta warna. Pengukuran ketiga parameter tersebut dilakukan dengan spektrofotometer HACH model DR 2000. Parameter TSS digunakan untuk merepresentasikan konsentrasi biomassa mikroalga.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pendahuluan pemisahan mikroalga dengan sedimentasi memberikan hasil bahwa biomassa mikroalga tidak mengendap meskipun dibiarkan dalam jangka waktu cukup lama (hingga 24 jam). Proses penggumpalan dan pengendapan secara spontan (bioflokulasi) tidak teramati pada percobaan tersebut. Hal ini disebabkan oleh karena suspensi partikel mikroalga bersifat stabil, ukuran sel mikroalga sangat kecil dan

perbedaan densitas antara biomassa mikroalga dan densitas air tidak cukup besar untuk memungkinkan terjadinya pengendapan sel mikroalga. Agar terjadi proses pengendapan ukuran biomassa dan perbedaan densitas biomassa mikroalga dan densitas air harus ditingkatkan. Hal ini dapat dilakukan dengan cara penambahan koagulan alum ataupun PAC.



Gambar 1. Hasil Percobaan Pemisahan Mikroalga Dengan Metode Koagulan/Flokulasi Skala Laboratorium

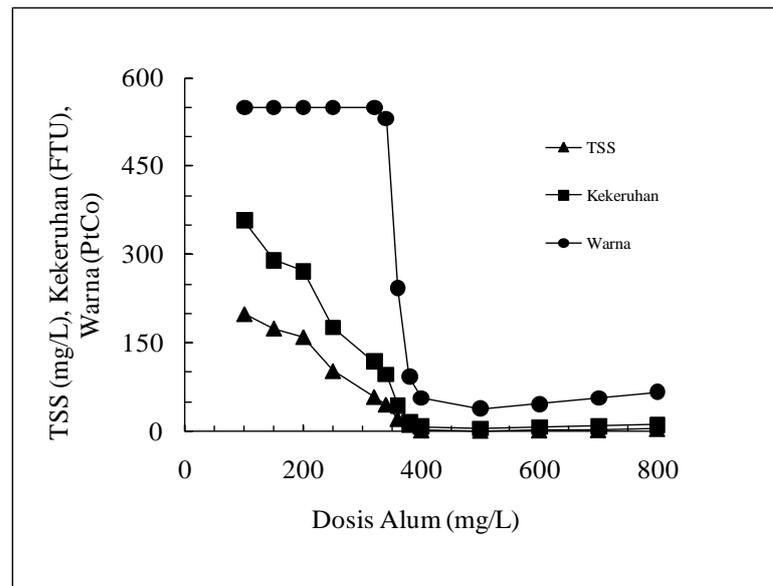
Gambar 1 menunjukkan hasil percobaan pemisahan mikroalga dengan koagulan skala laboratorium. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pemisahan mikroalga dapat berlangsung setelah penambahan sejumlah tertentu koagulan. Evaluasi lebih lanjut kinerja proses pemisahan mikroalga dilakukan dengan variasi jenis dan dosis koagulan untuk dua jenis/karakteristik medium yang berbeda. Pada penelitian ini diuji dua jenis koagulan (alum, dan PAC padat) untuk dua jenis medium tumbuh mikroalga (medium limbah RPH dan medium sintetik).

Pengaruh Jenis dan Dosis Koagulan

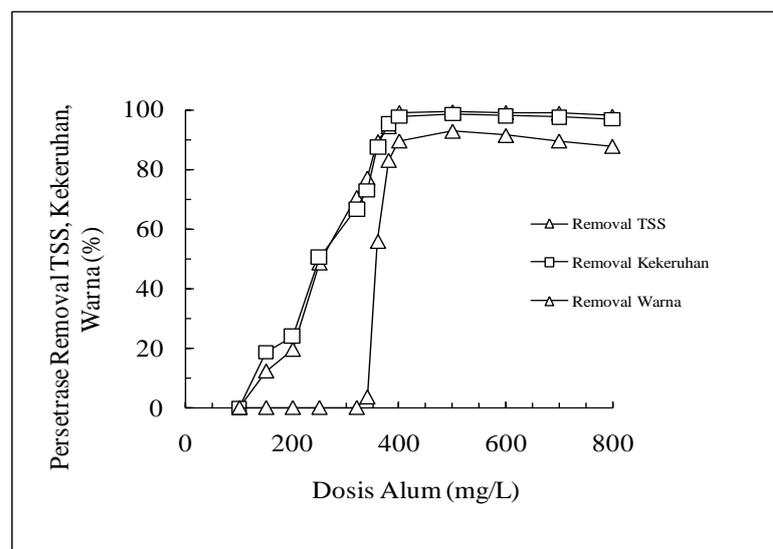
Hasil penelitian pemisahan mikroalga dari media tumbuh limbah cair RPH disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Tingkat pemisahan biomassa mikroalga dipengaruhi oleh dosis alum yang diberikan. Konsentrasi

mikroalga (dinyatakan dalam TSS) sekitar 200 mg/L dapat diturunkan hingga sekitar 1 mg/L. Selain biomassa mikroalga, kekeruhan dan warna, air juga mengalami penurunan secara signifikan akibat proses koagulasi/flokulasi, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Kekeruhan mengalami penurunan dari sekitar 360 menjadi 5 FTU

(setara dengan penurunan 98,5 %), sedangkan warna air menurun dari lebih dari 550 menjadi 38 PtCo unit (setara dengan penurunan 93 %). Berdasarkan kriteria penurunan ketiga parameter tersebut, dosis optimum alum untuk pemisahan mikroalga dari media limbah cair RPH adalah sekitar 400 mg/L.



Gambar 2. Pengaruh Dosis Alum pada Konsentrasi Biomassa Mikroalga, Kekeruhan dan Warna pada Media Limbah Cair RPH



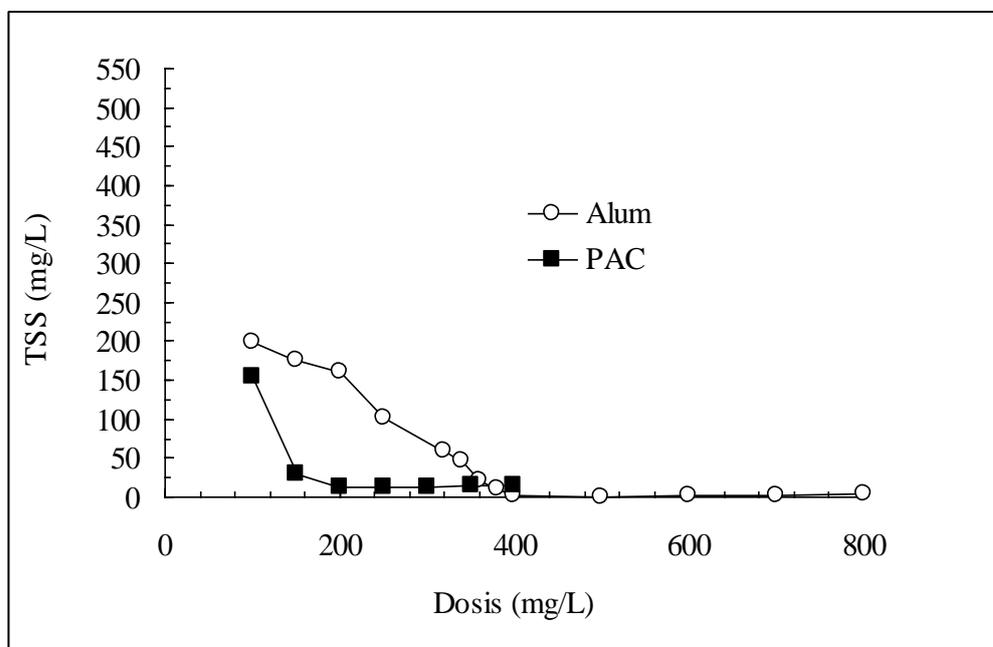
Gambar 3. Presentase Removal Biomassa Mikroalga, Kekeruhan, dan Warna pada Media Limbah Cair RPH

Selain konsentrasi, jenis koagulan juga berpengaruh terhadap efisiensi pemisahan mikroalga dari media tumbuh limbah cair RPH sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, 5, dan 6. Gambar tersebut menunjukkan hubungan antara dosis koagulan dan konsentrasi biomassa mikroalga (TSS), kekeruhan dan warna pada media limbah cair RPH. Untuk kedua jenis koagulan tersebut diperlukan dosis berbeda untuk mencapai penurunan konsentrasi biomassa mikroalga, kekeruhan dan warna. Perbedaan efektivitas koagulan berkaitan dengan kadar Al^{3+} di dalam kedua jenis koagulan tersebut. Ion ini yang berperan dalam proses koagulasi/flokulasi partikel mikroalga di dalam media tumbuh. Selain itu, kebutuhan koagulan juga dipengaruhi oleh keberadaan ligan-ligan yang dapat bereaksi dengan koagulan, seperti fosfat dan sulfat. Berdasarkan pada penurunan ketiga parameter tersebut, dosis optimum PAC untuk pemisahan mikroalga dari media limbah cair RPH adalah sekitar 200 mg/L. Secara umum koagulan PAC memberikan efek kecepatan koagulasi/ flokulasi yang lebih

baik daripada koagulan alum. Ukuran partikel (jari-jari atau diameter), selisih densitas partikel mikroalga dengan densitas media tumbuh (air), dan viskositas medium mempengaruhi kecepatan sedimentasi (v_s) sebagaimana dinyatakan oleh Hukum Stokes:

$$v_s = \frac{2}{9} \frac{(\rho_p - \rho_f) g r^2}{\eta}$$

dengan v_s adalah kecepatan pergerakan partikel (m/s) (arah ke bawah jika $\rho_p > \rho_f$, dan arah ke atas jika $\rho_p < \rho_f$), g percepatan gravitasi ($m s^{-2}$), r jari-jari partikel, η viskositas cairan ($kg m^{-1} s^{-1}$), ρ_p densitas massa partikel ($kg m^{-3}$), dan ρ_f densitas cairan ($kg m^{-3}$). Terlihat jelas dari persamaan di atas bahwa kecepatan pengendapan berbanding kuadrat dengan ukuran (jari-jari) partikel. Peningkatan laju pengendapan atau percepatan pemisahan, dapat dilakukan dengan meningkatkan ukuran partikel atau flok yang terbentuk, misalnya dengan penambahan flokulan organik.

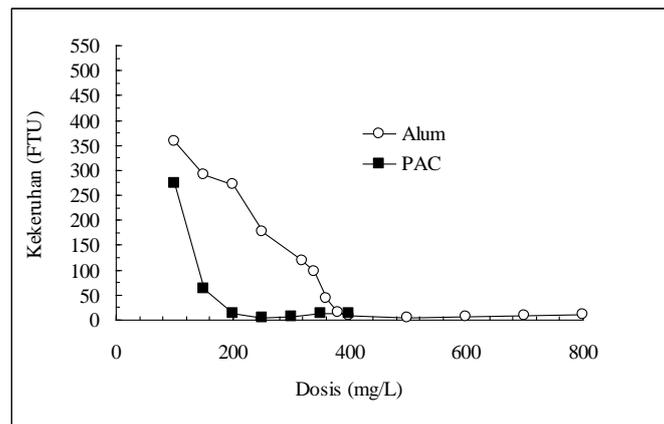


Gambar 4. Pengaruh Jenis dan Dosis Koagulan pada Penurunan Konsentrasi Mikroalga pada Media Limbah Cair RPH

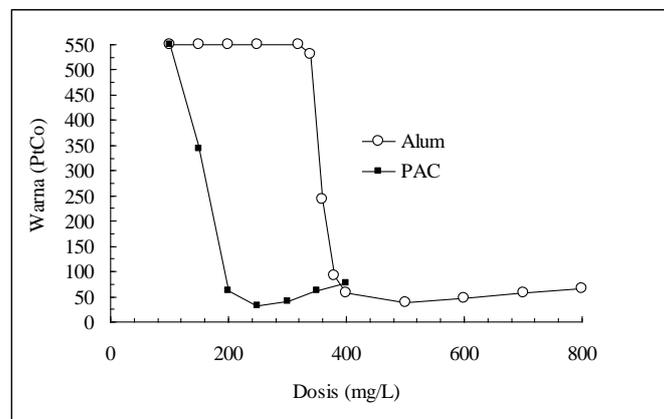
Pengaruh Jenis Media Tumbuh Mikroalga

Kebutuhan koagulan untuk pemisahan mikroalga juga dipengaruhi oleh jenis atau karakteristik media tumbuh mikroalga sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3. Pada gambar tersebut disajikan pengaruh dosis koagulan terhadap penurunan konsentrasi mikroalga, kekeruhan dan warna pada proses flokulasi/koagulasi dengan alum dan PAC untuk media tumbuh limbah cair RPH dan limbah cair sintetik. Terlihat bahwa karakteristik media tumbuh mikroalga menentukan jumlah kebutuhan koagulan untuk mencapai tingkat pemisahan tertentu. Untuk pemisahan mikroalga yang ditumbuhkan dalam media limbah cair sintetik diperlukan dosis alum maupun PAC lebih

tinggi dibandingkan dengan dosis alum atau PAC untuk pemisahan mikroalga yang ditumbuhkan dalam limbah cair RPH. Hal ini berkaitan dengan tingkat stabilitas partikel mikroalga di dalam media tumbuh tersebut. Semakin stabil kondisi suspensi/koloid, semakin banyak kebutuhan dosis koagulan. Tergantung pada jenis dan dosis koagulan serta karakteristik medium, kekeruhan medium dapat direduksi hingga 0-8 FTU, warna dapat diturunkan menjadi 0-62 PtCo dan TSS hingga 1-17 mg/L. Effluen ini berpotensi untuk didaur-ulang untuk keperluan tertentu. Dosis optimum untuk pemisahan mikroalga dari media tumbuh limbah artifisial sekitar 600 mg/L alum atau 400 mg/L PAC, dan pada media limbah cair



Gambar 5. Pengaruh Jenis dan Dosis Koagulan pada Penurunan Konsentrasi Kekeruhan pada Media Limbah Cair RPH



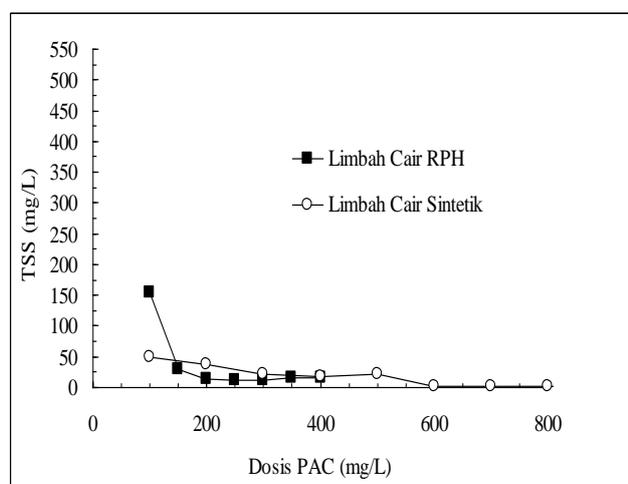
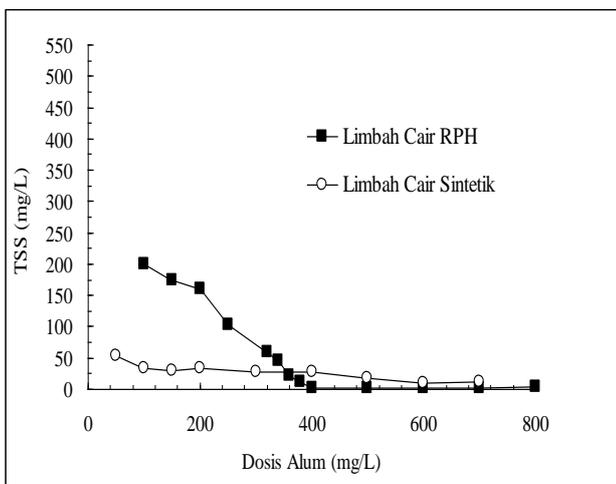
Gambar 6. Pengaruh Jenis dan Dosis Koagulan pada Penurunan Konsentrasi Warna pada Media Limbah Cair RPH

RPH sekitar 400 mg/L alum atau 200 mg/L PAC. Tingkat removal TSS, kekeruhan dan

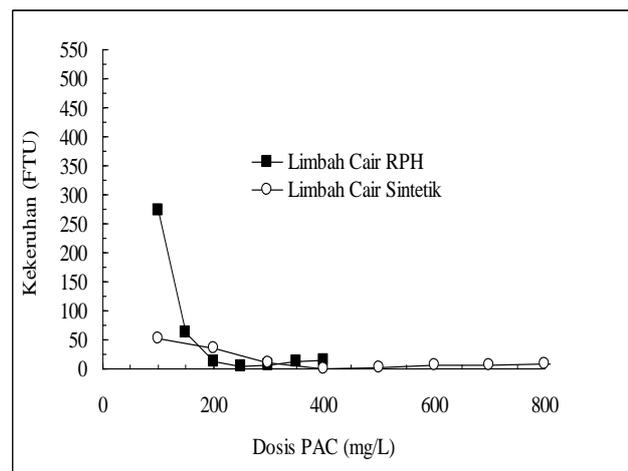
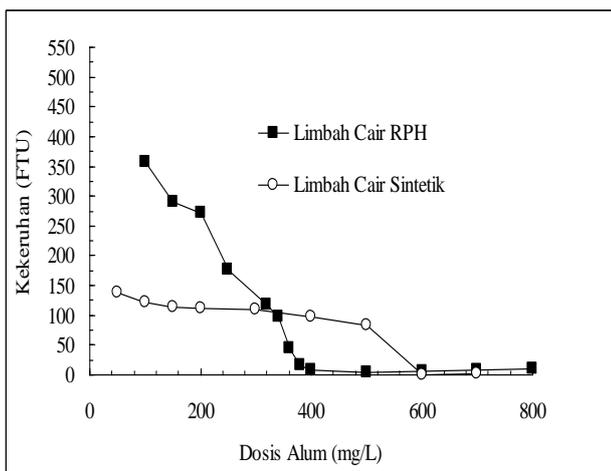
warna dengan dosis tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dosis optimum alum dan PAC untuk pemisahan mikroalga dan tingkat removal beberapa parameter kualitas supernatan

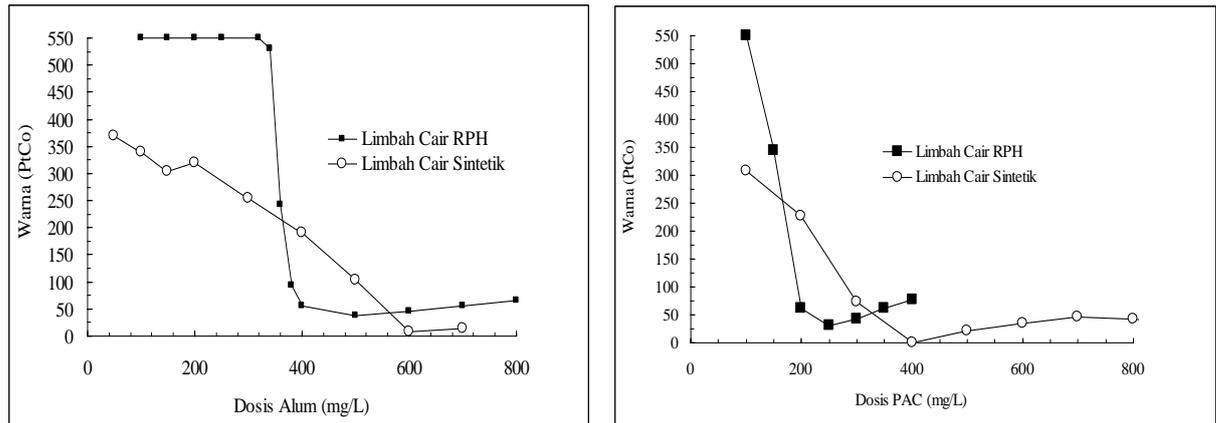
Jenis Medium	Jenis koagulan	Dosis optimum (mg/L)	Tingkat Removal, dari → ke (% removal)		
			Kekeruhan (FTU)	Warna (PtCo)	TSS (mg/L)
Limbah cair artifisial	Alum	600	138 → 1 (99%)	370 → 8 (98%)	53 → 9 (83%)
	PAC	400	52 → 0 (100%)	310 → 0 (100%)	50 → 17 (65%)
Limbah cair RPH	Alum	400	360 → 8 (98%)	> 550 → 55 (≈90%)	200 → 1 (99%)
	PAC	200	273 → 12 (96%)	> 550 → 62 (≈96%)	154 → 13 (91%)



Gambar 7. Pengaruh dosis koagulan terhadap Penurunan Konsentrasi Mikroalga pada Proses Flokulasi/Koagulasi dengan alum dan PAC untuk media tumbuh limbah cair RPH dan limbah cair sintetik



Gambar 8. Pengaruh dosis koagulan terhadap Penurunan Konsentrasi Kekeruhan pada Proses Flokulasi/Koagulasi dengan alum dan PAC untuk media tumbuh limbah cair RPH dan limbah cair sintetik



Gambar 9. Pengaruh dosis koagulan terhadap Penurunan Konsentrasi Keketuhan pada Proses Flokulasi/Koagulasi dengan alum dan PAC untuk media tumbuh limbah cair RPH dan limbah cair sintetik

Kimia proses koagulasi/flokulasi dalam cairan merupakan proses yang kompleks. Ion-ion dalam koagulan (dalam hal ini Al^{3+}) bereaksi dengan ligan-ligan seperti OH^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} membentuk produk-produk reaksi baik yang terlarut maupun tak terlarut. Jenis dan konsentrasi ligan serta jenis dan konsentrasi produk reaksi ini mempengaruhi kuantitas atau dosis koagulan yang diperlukan untuk mencapai tingkat destabilisasi partikel tertentu. Ion Al^{3+} dapat bereaksi dengan ion hidroksil (OH^-) membentuk senyawa yang dapat bereaksi lebih lanjut dengan permukaan partikel atau ligan lain. Hal ini menjelaskan mengapa dosis optimum koagulan dipengaruhi oleh karakter medium dan partikel (Montgomery, 1985).

Proses koagulasi/flokulasi dapat dideskripsikan dengan bantuan model umum agregasi partikel, sebagaimana dikemukakan oleh Montgomery (1985) dan Rott (1992). Selama proses koagulasi/flokulasi, mula-mula distribusi partikel bersifat stabil yang terdiri atas partikel-partikel yang bermuatan negatif dan saling tolak menolak. Dengan penambahan koagulan (ion Al^{3+}) stabilitas partikel tersebut terganggu yang mengakibatkan pembentukan mikroflok yang bersifat tidak stabil. Agregasi dan pembesaran lebih lanjut ukuran flok-flok terjadi akibat mekanisme transport. Selama transport tersebut, flok-flok

terkena gaya gesek yang tidak seragam besarnya yang dapat berakibat terjadinya erosi atau gangguan sebagian agregat flok (*floc breakup*). Pada akhir proses koagulasi dicapai kondisi tunak (*stady state*) dimana laju pembentukan flok dan laju pemecahan flok dalam keadaan seimbang. Laju pencapaian kondisi tunak dan bentuk distribusi ukuran partikel tergantung dipengaruhi oleh sifat hidrodinamik sistem dan karakter kimia interaksi koagulan dan partikel.

Analisis Biaya

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dosis optimum PAC lebih rendah dibandingkan dosis optimum alum untuk pemisahan mikroalga. Akan tetapi, seleksi jenis koagulan harus melibatkan aspek biaya karena harga PAC relatif lebih mahal dibandingkan dengan alum (perbandingan harga PAC terhadap harga alum sekitar 5,8:1. Tabel 3 menunjukkan hasil analisis biaya bahan kimia pada pemisahan mikroalga dengan metode koagulasi/flokulasi. Perhitungan biaya didasarkan pada harga alum Rp 1.100,-/kg dan PAC padat Rp 6.380,-/kg.

Biaya dimaksud hanya menyangkut biaya bahan kimia (koagulan), karena biaya ini merupakan komponen utama dalam pemisahan mikroalga dengan koagulasi/flokulasi.

Tabel 3. Biaya Bahan Kimia Pemisahan Mikroalga Dengan Metode Koagulan/Flokulasi

Jenis Limbah Cair	Jenis koagulan	Dosis Optimum (mg/L)	Harga Koagulan (Rp/kg)	Biaya Bahan Kimia (Rp/m ³)	Perbandingan Biaya (Alum:PAC)
Limbah sintetik	Alum	600	1.100	660	0,26
	PAC	400	6.380	2.552	
Limbah cair RPH	Alum	400	1.100	440	0,34
	PAC	200	6.380	1.276	

Biaya dimaksud hanya menyangkut biaya bahan kimia (koagulan), karena biaya ini merupakan komponen utama dalam pemisahan mikroalga dengan koagulasi/flokulasi. Dari tabel tersebut terlihat bahwa biaya pemisahan mikroalga dengan alum lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan PAC, yaitu hanya sekitar sepertiganya. Biaya pemisahan mikroalga alum, misalnya dari media limbah cair RPH, sekitar Rp 440,- per m³ media.

Biaya pemisahan tersebut masih relatif mahal dalam proses produksi mikroalga. Informasi ini memberikan gambaran kuantitatif tentang biaya pemisahan mikroalga dengan menggunakan metode koagulasi/flokulasi. Hasil penelitian ini juga mengindikasikan masih diperlukannya pengembangan teknik pemisahan mikroalga yang lebih efektif dari sisi biaya. Dalam konteks ini, usaha pengembangan teknik pemisahan mikroalga dapat dilakukan melalui pemilihan jenis mikroalga tertentu yang mudah dipisahkan, misalnya *Spirulina* yang berbentuk spiral panjang dan mudah disaring. Beberapa spesies mikroalga juga dapat mengalami flokulasi secara spontan (tanpa penambahan bahan kimia), meskipun membutuhkan waktu yang lama sehingga membutuhkan area luas (Schenk *et al.*, 2008). Oleh karena biaya pemisahan dengan koagulasi/flokulasi terutama diakibatkan oleh pemakaian bahan kimia, maka teknik pemisahan mikroalga yang tidak membutuhkan bahan kimia menarik untuk dikaji, misalnya dengan metode elektro koagulasi/flokulasi, atau eksplorasi alternatif koagulan yang lebih efektif dari sisi biaya.

4. KESIMPULAN

Pemisahan mikroalga merupakan tahapan yang penting dalam produksi mikroalga karena tahapan ini menentukan biaya produksi dan kualitas hasil. Pemisahan mikroalga dari media tumbuh limbah cair RPH dan limbah cair sintetik dapat dilakukan secara efektif dengan metode koagulasi/flokulasi. Efisiensi pemisahan mikroalga sangat ditentukan oleh jenis dan dosis koagulan serta jenis dan karakteristik media tumbuhnya. Dosis optimum untuk pemisahan mikroalga dari media tumbuh limbah sintetik sekitar 600 mg/L alum atau 400 mg/L PAC, dan pada media limbah cair RPH sekitar 400 mg/L alum atau 200 mg/L PAC. Bergantung pada jenis dan dosis koagulan serta jenis dan karakteristik media tumbuh mikroalga, kadar TSS dapat diturunkan hingga 1-17 mg/l, kekeruhan dan warna medium direduksi hingga 0-8 FTU dan 0-62 unit PtCo.

Secara umum dosis alum yang diperlukan lebih tinggi dibandingkan dengan dosis PAC. Akan tetapi, karena harga alum relatif lebih murah, pemisahan mikroalga dengan alum menjadi lebih murah dibandingkan dengan PAC (dengan nisbah biaya sekitar 0,3). Biaya bahan kimia untuk pemisahan mikroalga dengan metode ini masih relatif mahal dan memberi indikasi masih perlunya pengembangan teknik pemisahan mikroalga yang lebih efektif dari sisi biaya. Kualitas efluen cukup baik dilihat dari parameter kekeruhan, warna, dan TSS, serta memungkinkan untuk didaur-ulang untuk keperluan tertentu. Pemanfaatan kembali air hasil olahan dapat

berkontribusi dalam usaha konservasi sumberdaya air dan mengurangi biaya produksi mikroalga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan bagian dari hasil penelitian Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional Batch II TA 2009-2010 yang dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional. Terima kasih disampaikan juga kepada Sdr. Rachmad Danausubrata atas bantuannya dalam pelaksanaan pekerjaan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

Avagyan, A. (2008). Global Prospects for Microalgae Production for Biofuels and for the Preservation of Nature. *Global Fuels Magazine*, February 2008, p. 22-27.

Banemann, J. (2003). Biofixation of CO₂ and Greenhouse Gas Abatement With Microalgae—Technology Roadmap. *Project report*. US Department of Energy.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25, p. 294-30.

Garcea, J., Nemedine, A. and Hamouri, B.E. (2000). Wastewater Treatment by Pond System: Experiences in Catalonia, Spain. *J. Water Sci. and Technol.*, 41(10-11), p. 35-42.

Gheynst, J.V. (2008). Future of Microalgae in Clean Technology. Biological and Agricultural Engineering, Davis University of California. Artikel online: www.ucop.edu/ott/industry/documents/VanderGheynst-CleanTech.pdf.

Heubeck, S. and Craggs, R. (2007). Resource Assessment of Algae Biomass for Potential Bio-Energy Production in

New Zealand. National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd., Hamilton, New Zealand.

Montgomery, J.M. (1985). Water treatment principles and Design. John Wiley & Sons, New York.

Pedroni, P. and Banemann, J. (2003). Microalgae for Greenhouse Gas Abatement: An International R & D Opportunity. *Ambiente TPoint 1/2003*, p. 24-28.

Rott, U. (1993). Wasseraufbereitung I. Institut fuer Siedlungswasserbau, Wasserguete- und Abfallwirtschaft. Universitaet Stuttgart.

Schenk, P.M., Thomas-Hall, S.R., Stephens, E., Marx, U.C. Mussnug, J.H., Posten, C., Kruse, O. and Ben Hankamer, B. (2008). Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *Bioenerg. Res.* (2008) 1, p. 20-43.

Shelef, G. and Azov, Y. (2000). Meeting Stringent Environmental and Reuse Requirements With an Integrated Pond System for the Twenty-First Century. *Water Sci. and Technol*, 42(10-11), pp. 299-305.

Suprihatin, Romli, M. and Ismayana, A. (2003). Application of Crossflow Membrane Separation for Algal Removal of Treated Agroindustrial Effluent for Reuse Purpose. *Paper on the Indonesia Toray Foundation Seminar*. Jakarta February 3-4, 2003.

Suprihatin. (1989). Kajian Daya Dukung Alga Terhadap Proses Dekomposisi Mikrobiologik Limbah Cair Industri Tapioka. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Van Harmelen, T. and Oonk, H. (2006).
Microalgae Biofixation Process: Appli-
cation and Potential Contributions to

Green House Gas Mitigation Options.
TNO, The Netherlands.