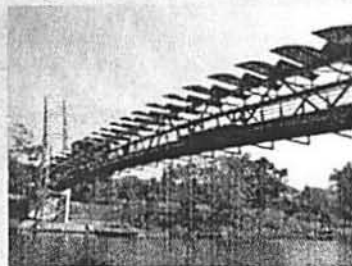


PROSIDING

Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2012

"The Challenge of Chemical Engineering institutions
in Product Innovation for a Sustainable Future"



Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Depok, Jawa Barat, Indonesia
20-24 September 2012

Diterbitkan oleh:



Asosiasi Pendidikan Tinggi
Teknik Kimia Indonesia

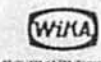
Didukung oleh:



Disponsori oleh:



PERTAMINA
LUBRICANTS



SUEK AG



PJS Rektor Universitas Indonesia

Djoko Santoso



Yth. Para Pimpinan Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Yth. Para Pimpinan Departemen di Lingkungan FTUI dan UI

Yth. Ketua dan Delegasi Asosiasi Pendidikan Tinggi Teknik Kimia Indonesia

Yth. Ketua Federasi Industri Kimia Indonesia atau yang mewakili

Yth. Ketua Badan Kejuruan Persatuan Insinyur Indonesia atau yang mewakili

Yth. Para Plenary Speaker

Yth. Para Pemakalah

Yth. Rekan-rekan Dosen, Mahasiswa, dan Undangan lainnya

Saya merasa terhormat dapat memperoleh kesempatan untuk memberikan sambutan pada rangkaian acara Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia dan Musyawarah Nasional APTEKINDO 2012. Seperti yang kita ketahui bersama, pendidikan merupakan salah satu pilar pembangunan dan modal dasar dalam membangun peradaban bangsa. Salah satu bidang yang patut diperhatikan adalah pendidikan teknik kimia yang secara terstruktur diberikan di perguruan tinggi. Pendidikan tinggi teknik kimia telah berkembang secara pesat dan telah diimplementasikan secara luas di dunia industri. Ilmu teknik kimia perlu terus digali melalui berbagai penelitian, sehingga dapat diaplikasikan secara nyata dan komersial pada industri. Oleh sebab itu, menjadi harapan kita bersama bahwa rangkaian acara ini dapat memfasilitasi forum dunia ilmiah, industri, dan kelompok masyarakat lain untuk membahas persoalan-persoalan mendasar dan terkini dalam bidang pendidikan tinggi teknik kimia.

Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia merupakan forum ilmiah nasional periodik 3 tahunan di bidang teknologi proses. Kegiatan ini bertujuan untuk menjadi wadah mempertemukan akademisi, peneliti, ilmuwan, praktisi industri, dan mahasiswa guna mempertukarkan pikiran,

pengalaman, gagasan-gagasan baru, hasil-hasil penelitian, dan rancang bangun proses dalam bidang teknik kimia, serta untuk membahas persoalan-persoalan mendasar dan terkini dalam bidang pendidikan tinggi teknik kimia.

Dengan demikian, saya berharap rangkaian acara ini bisa menjadi usaha yang utama dalam mencapai relasi yang lebih kuat sebagai penghubung dunia ilmiah, industri, dan kelompok masyarakat lain dalam menciptakan forum komunikasi antar komunitas tersebut, serta membuka peluang kerja sama yang saling menguntungkan.

Saya ingin berterimakasih kepada APTEKINDO dan Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia untuk mengorganisir event yang sangat berharga ini, dan mendukung organisasi untuk berpartisipasi dan memberikan kontribusi nyata. Saya yakin kalian semua akan menemukan rangkaian acara ini inspiratif dan berguna. Dan dengan ini saya berharap kalian dapat memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya.

Depok, 20 September 2012

Prof. Dr. Ir. Djoko Santoso, M.Sc.
PJS Rektor Universitas Indonesia

Ketua APTEKINDO
**Widodo W.
Purwanto**



Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmatNya sehingga agenda tiga tahunan yaitu **Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia (SNTKI) dan Musyawarah Nasional - Asosiasi Pendidikan Tinggi Teknik Kimia Indonesia (APTEKINDO) 2012** dapat dilaksanakan di Universitas Indonesia, Depok.

Atas nama pengurus APTEKINDO periode 2009-2012 kami menyampaikan Selamat Datang di acara SNTKI dan Munas 2012 kepada segenap pembicara utama, pemakalah, peserta seminar, mahasiswa, praktisi, undangan dan para delegasi yang mewakili seluruh Jurusan/Program Studi/Departemen Teknik Kimia di Indonesia.

Pada tahun ini APTEKINDO mengangkat tema Seminar *"The Challenge of Chemical Engineering Institutions in Product Innovation for a Sustainable Future"*. Tema ini dipilih selaras dengan "milineum ke-tiga" bidang teknik kimia yaitu Disain Produk Kimia dan keterkaitannya dengan Pembangunan Keberlanjutan serta permasalahan terkini industri kimia Indonesia.

Saya yakin bahwa SNTK dan Munas APTEKINDO 2012 merupakan salah satu forum komunikasi penting di tingkat nasional bagi para peneliti, penyelenggara pendidikan Teknik Kimia dan praktisi industri dalam rangka membahas perkembangan penelitian teknik kimia terkini, pendidikan Teknik Kimia dan industri kimia di Indonesia. Dengan adanya pertemuan ilmiah ini diharapkan dapat membangun kerjasama yang kuat diantara pemangku kepentingan Teknik Kimia dan mendukung peningkatan kualitas pendidikan Teknik Kimia, penelitian dan akhirnya dapat meningkatkan perkembangan industri kimia nasional.

Pada rangkaian acara tahun ini juga dilaksanakan untuk pertama kali Chemical Engineering Award 2012 yaitu pemberian apresiasi kepada insan Teknik Kimia Indonesia yang berprestasi dan memiliki kontribusi penting di bidang teknik kimia dengan kategori dosen, mahasiswa, dan praktisi.

Munas APTEKINDO 2012 akan membahas capaian asosiasi selama tiga tahun yaitu rekomendasi Kurikulum Inti, peningkatan kemampuan pembelajaran dosen dan publikasi Jurnal Teknik Kimia Indonesia (JTKI), dan berbagai permasalahan aktual yang dihadapi dunia pendidikan Teknik Kimia di Indonesia serta pemilihan kepengurusan APTEKINDO periode 2012-2015.

Akhirnya, kami menyampaikan terimakasih dan penghargaan yang tinggi kepada Sponsor, BKK-PIT, FIKI, dosen dan mahasiswa serta manajemen di tingkat UI, FTUI dan Departemen Teknik Kimia yang telah berperan sebagai tuan rumah acara ini, anggota panitia pengarah, juri ChE. Award, editor JTKI, peserta Seminar dan Munas dan semua pihak yang membantu terselenggaranya acara ini.

Selamat melaksanakan Seminar dan Musyawarah Nasional, semoga sukses dan menghasilkan langkah penting dan nyata bagi kemajuan Pendidikan Teknik Kimia Indonesia.

Depok, 20 September 2012
Prof. Widodo W. Purwanto
Ketua APTEKINDO



Ketua Pelaksana
Sukirno



Sebagai upaya turut berperan aktif membangun landasan ilmu pengetahuan dan teknologi yang kokoh dan yang mencitrakan pengolahan sumber daya alam nasional, Asosiasi Pendidikan Tinggi Teknik Kimia Indonesia (APTEKINDO), menyelenggarakan Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia (SNTKI) secara periodik setiap 3 tahun sekali sejak tahun 2003. SNTKI merupakan simbiosis dari Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo (ITB), Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses (Undip), Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia (ITS), Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia (UI), Seminar Teknik Kimia anggota APTEKINDO. Pelaksanaan SNTKI ini merupakan salah satu upaya untuk mendeseminasi karya-karya penelitian yang dihasilkan oleh perguruan tinggi, lembaga penelitian, dan unit-unit penelitian industri di tanah air. Seminar ini disamping sebagai wahana bagi peneliti untuk berkontribusi dalam mengembangkan dan memperkaya khazanah pengetahuan, juga dimaksudkan sebagai media yang dapat menjembatani kolaborasi lebih lanjut di antara peneliti, industriawan, pemerintah, dan pengguna lainnya.

Pada tahun ini, SNTKI 2012 diselenggarakan di Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok dan mengusung tema "*The Challenge of Chemical Engineering Institutions in Product Innovation for Sustainable Future*". Tema ini dipilih untuk memberikan wahana bagi peneliti untuk mengemukakan perkembangan terbaru hasil-hasil penelitiannya, terutama karya inovasi yang dapat diterapkan untuk kemajuan masyarakatnya secara berkesinambungan. Diharapkan karya inovasi tersebut dapat mengilhami peneliti lainnya dalam membangun laboratorium yang kuat dan berkesinambungan untuk menghasilkan karya yang makin berkualitas dan juga makin tinggi kadar teknologi

yang diciptakan sendiri, sehingga semakin mampu didalam mempolakan dan mengarahkan perkembangan sistem teknologi dan industri dalam negeri.

Dokumen ini menampung kumpulan makalah yang dipresentasikan dalam SNTKI 2012 yang berisi hasil penelitian, pengetahuan dan pengalaman dalam bidang-bidang: **rekayasa dan sistim proses kimia; rekayasa bioproses; reactor, kinetika dan katalisis; energi dan lingkungan; termodinamika dan peristiwa perpindahan; proses separasi; material dan nano teknologi; studi kasus industri dan pendidikan teknik kimia.** Dokumen ini memuat 178 makalah yang ditulis oleh lebih dari 300 penulis. Semua makalah yang dikirimkan ke SNTKI 2012 telah ditinjau oleh panitia.

Panitia berharap bahwa buku ini dapat memberikan sebuah *platform* dan barometer untuk mempromosikan keunggulan hasil-hasil penelitian kita dan menjadi sebuah lokomotif untuk mendorong pembentukan jejaring kerjasama penelitian yang dapat mengakselerasi kemajuan bangsa.

Panitia menyampaikan apresiasi yang tinggi kepada seluruh penyaji makalah lisan, makalah poster, peserta seminar, sponsor, dan pihak-pihak yang ikut membantu kelancaran kegiatan ini.

Depok, 20 September 2012
Dr. Sukirno
Ketua Panitia Pelaksana SNTKI 2012



Susunan Panitia

Panitia Pengarah

Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA. (Ketua APTEKINDO)

Ir. Nanang Untung (Ketua BKKPII)

Ir. Hidayat Nyakman, M.Sc. (Ketua FIKI)

Ketua Program Studi Teknik Kimia ITB

Ketua Jurusan Teknik Kimia ITS

Ketua Jurusan Teknik Kimia UGM

Ketua Jurusan Teknik Kimia UNDIP

Ketua Jurusan Teknik Kimia UNSRI

Ketua Departemen Teknik Kimia UI

Ketua Jurusan Teknik Kimia Univ. Riau

Ketua Jurusan Teknik Kimia Univ. Surabaya

Ketua Departemen Teknik Kimia USU

Ketua Jurusan Teknik Kimia UII

Ketua Jurusan Teknik Kimia UNS

Prof. Dr. Ir. Mochamad Nasikin, M.Eng.

Dr. Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc.

Kamarza Mulia, Ph.D.

Panitia Pelaksana

Ketua I

Dr. Ir. Sukirno, M.Eng.

Ketua II

Tara Vergita

Wakil Ketua I

Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, MT.

Wakil Ketua II

Felita

Bendahara I

Dr. Eny Kusriani, S.Si.

Bendahara II

Nafian Awalludin

Sekretaris I

Dr. Tania Surya Utami, ST., MT.

Sekretaris II

Eka Nurin Sharfina Irianto

Kepala Bidang SNTKI

Dr. Ir. Nelson Saksono, MT.

Wakil Kepala Bidang SNTKI I

Dr. Muhamad Sahlan

Panitia Pelaksana

Wakil Kepala Bidang SNTKI II

Tania Desela, ST.

Wakil Kepala Bidang SNTKI III

Muhammad Saefuddin

Kepala Bidang Munas APTEKINDO

Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng.

Kepala Bidang Munas APTEKINDO I

Ir. Dewi Tristantini, MT., PhD.

Kepala Bidang Munas APTEKINDO II

Hasbi Priadi

Kepala Bidang *ChemEng Award*

Dr.rer.nat. Ir. Yuswan Muharam, MT.

Wakil Kepala Bidang *ChemEng Award I*

Dr. Ing. Donni Adinata, ST., M.Eng.Sc.

Wakil Kepala Bidang *ChemEng Award II*

Fransiska Milaniati Pratiwi

Kepala Bidang Sponsor/Pendanaan

Dr. Heri Hermansyah, ST., M.Eng.

Wakil Kepala Bidang Sponsor/Pendanaan I

Dr. Ing. Ir. Misri Gozan, M.Tech

Wakil Kepala Bidang Sponsor/Pendanaan II

Rizka Izdihar

Kepala Bidang IT dan Dokumentasi

Ir. Abdul Wahid, MT.

Wakil Kepala Bidang IT dan Dokumentasi I

Bambang Heru Susanto, ST., MT.

Wakil Kepala Bidang IT dan Dokumentasi II

Reza Tirsadi Librawan

Kepala Bidang Prosiding dan Poster

Dr. Ir. Setiadi, M.Eng.

Wakil Kepala Bidang Prosiding dan Poster I

Rahma Muthia, ST.

Wakil Kepala Bidang Prosiding dan Poster II

Muhammad Fakri Pirdaus



Daftar Isi

Rektor Universitas Indonesia	i
Ketua APTEKINDO	ii
Ketua Pelaksana	iii
Susunan Panitia	iv
Daftar Isi	v
Plenary Speaker	1
Energi dan Lingkungan (EL)	12
Material dan Nano Teknologi (MN)	158
Rekayasa Produk dan Sistem Proses Kimia (PP)	253
Proses Separasi (PS)	446
Rekayasa Bioproses (RB)	549
Reaktor, Kinetika dan Katalisis (RK)	723
Studi Kasus Industri (SI)	927
Pendidikan Teknik Kimia (TK)	966
Termodinamika dan Fenomena Perpindahan (TP)	990

Pemisahan Mikroalga dengan Teknik Elektrokoagulasi

Suprihatin^{1,*}, Muhammad Romli¹, Lya Agustina², Nova Afriyanti¹

¹ Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Bogor

² Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin

*E-mail: suprihatin@indo.net.id

ABSTRAK

Tahap pemanenan mikroalga hingga saat ini masih menjadi kendala dalam pengembangan proses produksi mikroalga. Salah satu alternatif pemisahan mikroalga dari media tumbuhnya adalah dengan teknik elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi pada prinsipnya mirip dengan koagulasi kimia, akan tetapi elektrokoagulasi menawarkan berbagai keunggulan antara lain sederhana dalam operasi dan pemeliharaan, efektif, dan tidak membutuhkan penambahan bahan kimia. Penelitian ini mengkaji kemungkinan pemisahan mikroalga menggunakan teknik elektrokoagulasi dengan tujuan untuk mengevaluasi efisiensi pemisahan, kualitas dan biaya pemisahannya. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium menggunakan mikroalga yang ditumbuhkan dalam media limbah cair agroindustri. Faktor yang dikaji dalam penelitian ini meliputi tegangan listrik, waktu kontak dan jenis media tumbuh mikroalga. Optimasi proses dilakukan dengan menggunakan metode respons permukaan (*response surface method*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik elektrokoagulasi dapat digunakan secara efektif untuk memisahkan mikroalga hingga sekitar 80 persen, tergantung pada tegangan dan lama waktu kontak yang diberikan, serta jenis media tumbuh mikroalga. Selain biomasa mikroalga, nilai beberapa parameter pencemar seperti kekeruhan, warna, dan fosfat juga dapat direduksi secara signifikan.

Kata kunci: pemisahan mikroalga, elektrokoagulasi, limbah cair agroindustri

1. Pendahuluan

Mikroalga memiliki berbagai keunggulan dibandingkan dengan jenis tanaman lainnya, yaitu: i) produktivitas tinggi karena waktu generasi hanya dalam satuan jam atau hari, ii) tidak memerlukan lahan subur sehingga tidak berkompetisi dengan tanaman pangan, iii) dapat dikombinasikan untuk pengelolaan lingkungan (perolehan kembali nutrisi, konservasi air, dan biofiksasi karbon dioksida / reduksi emisi gas rumah kaca), iv) efisien dalam penyerapan energi surya, dan v) biomasa mengandung bahan-bahan bernilai tinggi seperti protein, minyak/lemak, vitamin, mineral, pigmen, β -karoten, bahan aktif, dan serat, yang dapat dimanfaatkan untuk

berbagai keperluan, termasuk untuk bahan baku pembuatan biodiesel [1], [2], [3].

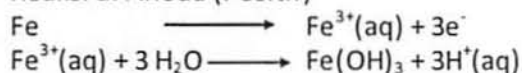
Hingga saat ini pemisahan (pemanenan) mikroalga dari media tumbuhnya masih menghadapi kendala. Penggunaan teknik sedimentasi tidak dapat diterapkan karena perbedaan densitas mikroalga dan air relatif kecil, sehingga membutuhkan waktu yang sangat lama. Mikroalga sebenarnya dapat dipisahkan secara efektif dengan penambahan bahan kimia (seperti Alum ($Al_2(SO_4)_3$) dan PAC (*Poly Aluminium Chloride*), akan tetapi teknik ini membutuhkan bahan kimia cukup yang banyak.

Salah satu alternatif pemisahan mikroalga adalah dengan teknik elektrokoagulasi.

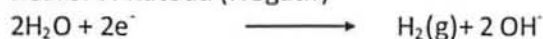


Elektrokoagulasi pada prinsipnya mirip dengan koagulasi kimia, akan tetapi elektrokoagulasi menawarkan berbagai keunggulan antara lain sederhana dalam operasi dan pemeliharaan, efektif pada dosis kation relatif rendah, dan lebih ekonomis karena tidak membutuhkan bahan kimia tambahan. Dalam proses elektrokoagulasi, katoda mengalami reaksi reduksi, sedangkan anoda mengalami reaksi oksidasi. Mekanisme elektrokoagulasi sangat tergantung pada sifat kimia cairan, terutama konduktivitasnya, sesuai dengan persamaan reaksi berikut [4], [5]:

Reaksi di Anoda (Positif)



Reaksi di Katoda (Negatif)



Ion Fe^{3+} yang terbentuk akan bereaksi secara spontan membentuk hidroksida dan/atau polihidroksida, yang dapat berbentuk ion-ion monomer, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan kompleks hidroksida polimerik, yaitu $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_5(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_2^{2+}$, atau $\text{Fe}_2(\text{H}_2\text{O})_6(\text{OH})_4^{4+}$ tergantung pada pH medium cair. Senyawa hidroksida/polihidroksida/polihidroksida metalik tersebut memiliki afinitas kuat untuk partikel-partikel tersuspensi dan ion penyebab koagulasi. Gas hidrogen yang terbentuk dapat bergabung dengan bahan organik atau padatan tersuspensi melalui proses flotasi [6].

Hasil reaksi reduksi-oksidasi mempengaruhi kestabilan sistem suspensi limbah sehingga zat yang tersuspensi, padatan dalam cairan tersebut juga mengalami destabilisasi yang dapat menyebabkan mikroalga terkoagulasi dan membentuk flok, sehingga memiliki ukuran dan densitas lebih besar dan menjadi lebih mudah mengendap. Partikel-partikel mikroalga menempel pada gas H_2 yang terbentuk dari proses reduksi-oksidasi dan mengalami flotasi [5]. Atas dasar keunggulan elektrokoagulasi, teknik ini telah dikaji untuk pengolahan limbah cair, misalnya untuk pengolahan air limbah industri kulit [6],

pengolahan air limbah industri kertas [7], eliminasi nitrat dari air dan air limbah [8], penyisihan warna [9], pengolahan lindi [10], dan eliminasi fosfat dari air limbah [11].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemungkinan pemisahan mikroalga dari media tumbuh limbah cair agroindustri (limbah cair peternakan, dan limbah cair RPH) dengan menggunakan teknik elektrokoagulasi untuk mengevaluasi efisiensi proses, kualitas efluen (supernatant), dan kebutuhan energinya.

2. Metode Penelitian

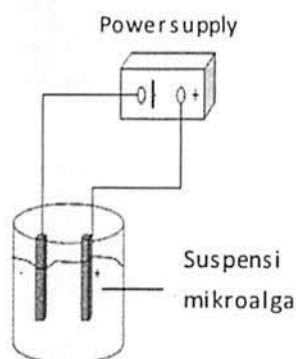
2.1. Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik dan Manajemen Lingkungan, Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah limbah cair RPH (UPTD RPH Bubulak, Bogor) dan limbah cair peternakan sapi (diperoleh dari peternakan di daerah Sindang Barang, Bogor) yang digunakan sebagai media tumbuh mikroalga, inokulum mikroalga alamiah yang berasal dari Danau LSI Kampus IPB Darmaga Bogor, serta bahan-bahan kimia lainnya yang digunakan untuk analisis kadar fosfat, nitrat, amonium, COD dan TSS limbah cair, seperti NaOH 0,6 N, larutan H_2SO_4 0,02%, larutan amonium molybdat, larutan SnCl_2 , gliserol, aquades, larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, pereaksi asam COD H_2SO_4 , indikator ferroin, larutan Ferro Aluminium Sulfat (FAS) 0,1 M, polyvinyl alkohol dan pereaksi Nessler.

Alat yang digunakan meliputi elektroda besi, adaptor pasokan listrik, serta instrumen dan peralatan analisis laboratorium, yaitu spektrofotometer, wadah-wadah plastik, pH meter, reaktor COD, serta berbagai alat gelas seperti tabung reaksi, gelas ukur, pipet mohr, pipet tetes, pipet volumetrik, buret dan gelas. Diagram skematik susunan peralatan untuk percobaan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram skematik peralatan untuk proses elektrokoagulasi

2.3. Metode Penelitian

Suspensi mikroalga disiapkan dengan menumbuhkan inokulum mikroalga dalam media limbah cair RPH dan peternakan menggunakan bak kultivasi yang terbuat dari kaca dengan ukuran 50 cm x 30 cm x 35 cm. Limbah cair sebanyak 22,5 L dan inokulum mikroalga sebanyak 7,5 L dimasukkan kedalam bak kultivasi, sehingga perbandingan media dan inokulum 75% : 25 %. Suspensi mikroalga yang digunakan untuk penelitian berumur sekitar 12 hari. Karakteristik suspensi mikroalga yang digunakan untuk percobaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik suspensi mikroalga yang digunakan pada percobaan

Parameter	Satuan	Media Limbah Cair Peternakan	Media Limbah Cair RPH
TSS	mg/L	324	367
Kekeruhan	FTU	379	390
Warna	PtCo	800	720
COD	mg/L	86,4	75,2
Fosfat	mg/L	10,02	4,21
pH		6,7	7,3

Faktor yang diteliti pada penelitian ini adalah tegangan listrik dan waktu elektrokoagulasi. Selang perlakuan tegangan

listrik yang diteliti berkisar antara 10-20 Volt, dengan waktu kontak antara 30-50 menit dengan volume suspensi mikroalga sebanyak satu liter. Ada enam parameter yang diamati dalam penelitian ini, yaitu TSS (Total Suspended Solid), kekeruhan, warna, COD, fosfat, dan pH. Parameter TSS digunakan untuk merepresentasikan biomasa mikroalga. Pengukuran TSS, kekeruhan, dan warna dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer DR 2000 masing-masing dengan panjang gelombang 810 nm, 750 nm, dan 455 nm. Analisis laboratorium parameter COD dan fosfat dilakukan sesuai dengan prosedur APHA [12].

Sebanyak satu liter sampel suspensi mikroalga dimasukkan ke dalam gelas piala. Kedalam suspensi mikroalga tersebut dicelupkan dua elektroda besi dan masing-masing dialiri arus listrik. Kedua elektroda tersebut berfungsi sebagai anoda (+) dan katoda (-). Setelah proses berlangsung selama waktu yang diinginkan, aliran listrik dimatikan dan satuan percobaan dibiarkan selama 30 menit. Setelah itu, sampel cairan sebanyak 100 mL diambil dan dilakukan analisis terhadap parameter TSS, kekeruhan, warna, COD, fosfat dan pH.

Optimasi proses pemisahan mikroalga dilakukan dengan desain model komposit terpusat (*central composite design*) menggunakan metode permukaan respon (*response surface method*). Rancangan ini telah diterapkan untuk berbagai optimasi proses [13], [14], [15]. Penetapan titik pusat (*central point*) yang digunakan sebagai data awal untuk mendapatkan satuan percobaan ditentukan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, yaitu pada tegangan listrik 15 volt dan waktu kontak 40 menit untuk memperoleh efisiensi pemisahan tertinggi. Berdasarkan data tersebut, taraf untuk faktor tegangan listrik (X_1) dipilih -1 (10 volt) dan +1 (20 volt), dan taraf untuk faktor waktu (X_2) dipilih -1 (30 menit) dan +1 (50 menit). Masing-masing peubah terdiri atas tiga taraf seperti disajikan pada Tabel 2.

Dalam studi ini digunakan tiga ulangan pada titik pusat sehingga memenuhi model kuadratik [13]. Dengan model ini, maka diperlukan sebelas satuan percobaan, dengan kombinasi perlakuan seperti disajikan pada Tabel

3. Pada tabel tersebut disajikan satuan percobaan pada optimasi proses dalam unit dan nilai asli. Dengan dua peubah tersebut, maka model kuadratik berbentuk:

$$Y_i = b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + b_3X_{1i}^2 + b_4X_{2i}^2 + b_5X_{1i}X_{2i} + \epsilon$$

dengan Y = respon dari masing-masing perlakuan, X = perlakuan; dimana X_1 = tegangan listrik (volt), dan X_2 = lama waktu proses (menit), b = koefisien parameter, dan ϵ = galat percobaan.

Tabel 2. Taraf peubah pada optimasi proses pemisahan mikroalga

Perlakuan	Nilai Rendah (-1)	Nilai Tengah (0)	Nilai Tinggi (+1)
Tegangan listrik (volt)	10	15	20
Waktu (menit)	30	40	50

Tabel 3. Matriks satuan percobaan pada optimasi proses dalam rancangan percobaan

No	X_1	X_2	Tegangan listrik (volt)	Lama waktu proses (menit)
1	-1	-1	10	30
2	-1	+1	10	50
3	+1	-1	20	30
4	+1	+1	20	50
5	0	0	15	40
6	0	0	15	40
7	0	0	15	40
8	1,414	0	22,07	40
9	-1,414	0	7,98	40
10	0	1,414	15	54,14
11	0	-1,414	15	25,86

Data yang diperoleh diolah dengan menggunakan program Design-Expert DX 8.0.11 (*trial version*), yang diperoleh dari www.statease.com yaitu program Design-Expert DX 8.0.11 (*trial version*).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Hasil Olahan

Tabel 4 menunjukkan kadar TSS dalam cairan hasil percobaan elektrokogulasi pada media limbah cair peternakan dan limbah cair RPH. Terlihat dari tabel tersebut, nilai parameter TSS mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai parameter yang sama pada cairan sebelum diolah (Tabel 1). Hal ini terjadi karena sebagian TSS mengalami pemisahan (mengendap atau mengapung) akibat proses elektrokogulasi.

Tabel 4. Sisa TSS hasil proses elektrokogulasi pada berbagai kondisi

Kondisi Proses		Media tumbuh mikroalga	
Tegangan listrik (volt)	Waktu (menit)	Limbah cair peternakan	Limbah cair RPH
10	30	178	141
10	50	180	218
20	30	186	231
20	50	163	154
15	40	76	158
15	40	77	157
15	40	78	220
22,07	40	177	106
7,98	40	185	174
15	54,14	174	130
15	25,86	175	141

Sisa TSS dalam cairan hasil olahan dipengaruhi oleh tegangan listrik dan lama waktu proses elektrokogulasi. Sebagaimana disajikan pada Tabel 4, sisa TSS dalam cairan berkisar antara 76-186 mg/L untuk mikroalga dengan media limbah cair peternakan dan 106-231 mg/L untuk mikroalga dengan media limbah cair RPH. Proses pemisahan mikroalga tersebut dapat dijelaskan dengan mekanisme umum elektrokogulasi sebagaimana dideskripsikan dalam literatur [6], dimana ion koagulan diproduksi *in situ* dan melibatkan dalam tiga tahapan proses, yaitu pembentukan ion koagulan melalui reaksi oksidasi elektrik elektroda,



destabilisasi padatan tersuspensi, dan agregasi fase tak-stabil membentuk flok.

3.2. Efisiensi Pemisahan

Tabel 5 menunjukkan tingkat efisiensi penurunan nilai parameter TSS, kekeruhan, warna, COD dan fosfat. Efisiensi penurunan parameter TSS berkisar antara 50-80% untuk mikroalga dengan media tumbuh limbah cair RPH, dan 28-67% untuk mikroalga dengan media tumbuh limbah cair peternakan, tergantung pada tegangan listrik dan lama waktu proses elektrokoagulasi.

Terlihat dari Tabel 5 tersebut, selain parameter TSS, nilai parameter kekeruhan, warna, COD dan fosfat juga mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai parameter yang sama pada cairan sebelum diolah (Tabel 1). Efisiensi penyisihan penurunan parameter TSS, kekeruhan, warna, COD dan fosfat bervariasi tergantung pada tingkat tegangan listrik dan lama waktu proses elektrokoagulasi yang diterapkan. Tingkat efisiensi penurunan kekeruhan berkisar 45-64% untuk media limbah cair RPH dan 37-69% untuk media limbah cair peternakan. Efisiensi penurunan

warna yang diperoleh yaitu 10-55% dan 12-56% untuk kedua jenis media tumbuh tersebut. Efisiensi penurunan COD menunjukkan nilai yang relatif rendah yaitu hanya 12-23% untuk media limbah cair RPH dan 8-19% untuk media limbah cair peternakan. Fosfat mengalami penurunan secara drastis yaitu mencapai 79% untuk media tumbuh limbah cair RPH dan 85% media tumbuh limbah cair peternakan.

Nilai efisiensi pemisahan mikroalga yang diperoleh pada penelitian relatif rendah yaitu maksimum 80% dibandingkan dengan hasil penelitian serupa menggunakan elektroda aluminium yang mampu memisahkan mikroalga dari media efluen industri hingga 99,5% [16]. Perbedaan hasil ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan karakteristik media tumbuh mikroalga yang digunakan untuk percobaan.

3.3. Optimasi Proses

Hasil optimum proses untuk mendapatkan sisa TSS minimum pada pemisahan mikroalga dari media limbah cair peternakan diketahui pada tegangan listrik 15 volt selama 40 menit, sesuai dengan persamaan linear:

Tabel 5. Efisiensi penurunan parameter TSS, kekeruhan, warna, COD dan fosfat (dalam persen)

Kondisi Proses		Media Tumbuh Mikroalga Limbah Cair RPH					Media Tumbuh Mikroalga Limbah Cair Peternakan				
Tegangan listrik (volt)	Waktu (menit)	TSS	Keke-ruhan	Wama	COD	Fosfat	TSS	Keke-ruhan	Wama	COD	Fosfat
10	30	51,5	57,4	30,6	21,3	24,0	60,8	68,9	54,4	8,3	13,2
10	50	51,0	54,1	9,7	18,1	19,2	56,5	55,9	52,3	12,0	21,2
20	30	49,3	49,2	19,4	11,7	15,0	32,7	48,6	15,0	19,4	40,3
20	50	55,6	45,9	33,3	20,2	85,0	28,7	36,7	12,5	15,7	66,7
15	40	79,3	62,6	55,6	23,4	76,5	52,5	58,0	48,0	11,1	77,6
15	40	79,0	63,9	52,8	21,3	76,7	51,2	60,2	47,6	13,9	78,5
15	40	78,8	64,4	52,8	23,4	76,5	51,5	57,8	47,9	13,0	76,9
22,07	40	51,8	51,5	30,6	21,3	34,0	32,1	42,2	25,0	16,7	56,9
7,98	40	49,6	55,4	9,7	24,5	27,3	67,3	68,3	56,3	16,7	17,4
15	54,14	52,6	48,7	33,3	17,0	39,9	46,3	49,6	45,1	13,0	20,6
15	25,86	52,3	54,1	31,9	19,2	17,6	59,9	61,0	51,8	14,8	23,0



$$Y = -7,8544 + 8,5555X_1 + 1,1153X_2$$

dengan Y = sisa TSS dalam cairan supernatan (mg/L), X_1 = tegangan listrik (volt) dan X_2 = lama waktu elektrokoagulasi. Pada kondisi tersebut didapatkan karakteristik cairan supernatan sebagai berikut: TSS = 165 mg/L, kekeruhan = 169,8 FTU, warna = 468,5 PtCo, COD = 74 mg/L, konsentrasi fosfat = 2,24 mg/l dan pH = 7,6.

Hasil optimum proses untuk mendapatkan sisa TSS terendah pada pemisahan mikroalga dari media limbah cair RPH diketahui pada tegangan listrik 20 volt selama 30 menit, sesuai dengan persamaan kuadrat:

$$Y = 1262,5748 - 57,6078X_1 - 37,2052X_2 - 0,125X_1X_2 + 2,07X_1^2 + 0,485X_2^2$$

Pada kondisi tersebut didapatkan karakteristik cairan supernatan sebagai berikut: TSS = 184 mg/L, kekeruhan = 191 FTU, warna = 56,5 PtCo, COD = 64 mg/L, konsentrasi fosfat = 3,73 mg/l dan pH = 7,6. Hubungan antara nilai TSS tersisa dengan tegangan listrik (X_1) dan waktu (X_2) untuk kedua jenis media tersebut disajikan pada Gambar 2.

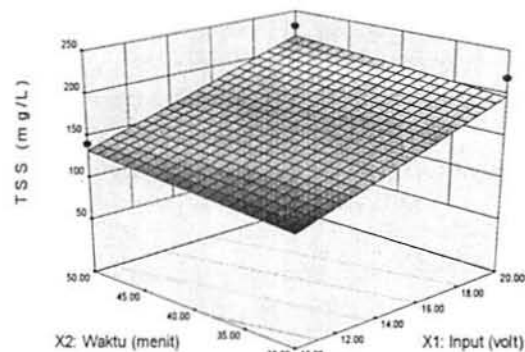
Optimasi juga dapat didasarkan pada tingkat efisiensi pemisahan TSS tertinggi. Berdasarkan kriteria ini, pada media pertumbuhan mikroalga limbah cair peternakan, kondisi optimum diperoleh pada tegangan listrik = 15 volt, dan lama waktu elektrokoagulasi = 40 menit, dengan tingkat pemisahan TSS = 49,05 %. Respon tingkat pemisahan TSS dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$Y = 102,42 - 2,64X_1 - 0,34X_2$$

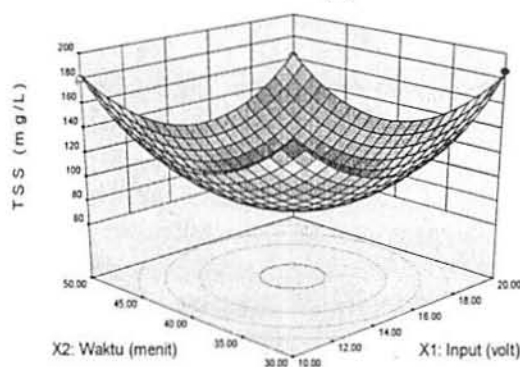
Pada kondisi tersebut diperoleh tingkat efisiensi penyisihan kekeruhan = 55,19 %, warna = 41,43 %, COD = 14,06 %, dan fosfat = 77,68 %.

Pada media limbah cair RPH, kondisi optimum diperoleh pada tegangan listrik = 15 volt, waktu = 40 menit, dan TSS = 79,02%. Respon tingkat pemisahan TSS dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$Y = -243,99 + 15,70X_1 + 10,14X_2 + 0,03X_1X_2 - 0,56X_1^2 - 0,13X_2^2$$



(a)

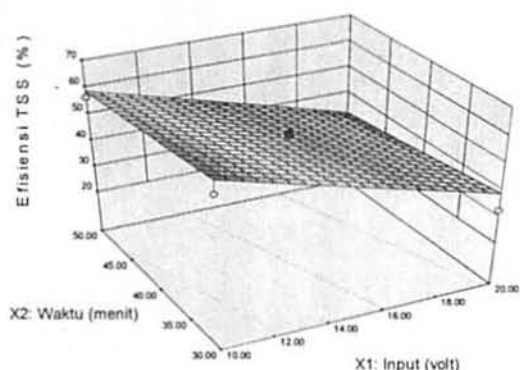


(b)

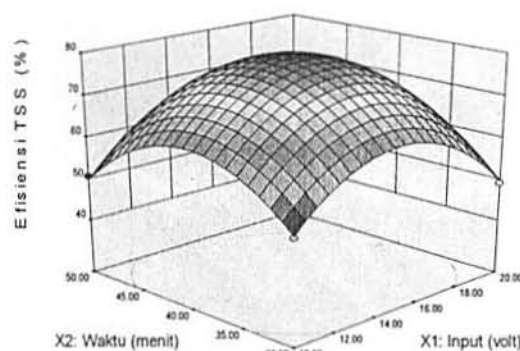
Gambar 2. Respon sisa TSS supernatan terhadap tegangan listrik dan lama waktu proses elektrokoagulasi untuk (a) media tumbuh limbah cair peternakan, dan (b) media tumbuh limbah cair RPH

Pada kondisi tersebut diperoleh tingkat efisiensi penyisihan kekeruhan = 63,59 %, warna = 53,71 %, COD = 22,69 %, dan fosfat = 76,56 %

Hubungan antara nilai penyisihan TSS dengan tegangan listrik (X_1) dan waktu (X_2) untuk kedua media pertumbuhan mikroalga tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



(a)



(b)

Gambar 3. Respon tingkat pemisahan TSS terhadap tegangan listrik dan lama waktu proses elektro-koagulasi untuk (a) media tumbuh limbah cair peternakan, dan (b) media tumbuh limbah cair RPH

3.4. Kebutuhan Energi dan Biaya

Komponen biaya utama untuk pemisahan mikroalga dengan teknik elektrokoagulasi adalah

biaya untuk energi listrik. Konsumsi energi listrik yang dibutuhkan dalam pemisahan mikroalga untuk setiap volume tertentu suspensi mikroalga dapat diperkirakan dengan persamaan:

$$E = U.I / (1000.Q)$$

dengan E = konsumsi energi (kWh/m^3), I = aliran listrik (Ampere), Q = laju alir suspensi mikroalga (m^3/jam). Untuk sistem curah, konsumsi energi dapat diperkirakan dengan persamaan:

$$E = U.I.t / (1000.V)$$

dengan E = konsumsi energi (kWh/m^3), I = aliran listrik (Ampere), V = volume suspensi mikroalga (m^3), dan t = lama waktu proses (jam).

Biaya listrik juga dapat dinyatakan dalam satuan rupiah per satuan bobot biomasa yang dipisahkan. Biaya pemisahan 1 kg biomasa mikroalga (dinyatakan dalam TSS) dapat diperkirakan dengan persamaan:

$$BP = (E.H_{\text{listrik}}).1000 / (\eta.TSS_{\text{in}})$$

dengan E = konsumsi energi listrik (kWh/m^3), H_{listrik} = harga listrik (Rp/kWh), η = efisiensi pemisahan mikroalga, dan TSS_{in} = konsentrasi biomasa mikroalga dalam influen (mg/L).

Tabel 6 menunjukkan rangkuman kondisi proses, efisiensi pemisahan, kebutuhan energi dan biaya pemisahan mikroalga. Biaya pemisahan tersebut masih relatif tinggi, yaitu Rp 18.778,-/kg TSS untuk mikroalga dari limbah peternakan, dan Rp 10.283,-/kg TSS untuk mikroalga dari limbah

Tabel 6. Rangkuman kondisi proses, efisiensi pemisahan, kebutuhan energi dan biaya pemisahan mikroalga

Media Tumbuh Mikroalga	Kondisi Proses		TSS Input (mg/L)	Efisiensi penyisihan TSS (%)	Kebutuhan Energi		Biaya	
	Voltase (volt)	Waktu (menit)			(kWh/m^3)	(kWh/kg TSS)	(Rp/ m^3)	(Rp/kg TSS)
Limbah cair peternakan	15	40	324	49	3,75	23,6	2.981	18.778
Limbah cair RPH	15	40	367	79	3,75	12,9	2.981	10.283

peternakan. Tingginya biaya kemungkinan disebabkan oleh skala penelitian yang relatif kecil (yaitu hanya satu liter) dan kadar TSS dalam influen yang relatif rendah yaitu sekitar 320-370 mg/L. Peningkatan skala dan optimasi proses lebih lanjut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik, yang secara langsung akan menurunkan biaya pemisahan mikroalga.

4. Kesimpulan

Proses elektrokoagulasi dapat menjadi alternatif sebagai perlakuan pendahuluan dalam pemisahan mikroalga dengan metode sedimentasi atau flotasi. Selain memisahkan biomassa mikroalga, proses elektrokoagulasi juga menurunkan beberapa parameter pencemar pada limbah cair yaitu kekeruhan, warna, fosfat, dan COD.

Berdasarkan tingkat pemisahan biomassa mikroalga, kondisi optimum diperoleh pada tegangan listrik 15 volt dalam waktu 40 menit untuk kedua jenis media tersebut. Efisiensi pemisahan biomassa mencapai 49% untuk media limbah cair peternakan dan 79% untuk media limbah cair RPH. Pada tingkat pemisahan tersebut, biaya pemisahan diperkirakan masing-masing Rp 18.778,-/kg TSS dan Rp 10.283,-/kg TSS.

Peningkatan skala dan optimasi proses lebih lanjut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik, yang secara langsung akan menurunkan biaya pemisahan mikroalga.

Daftar Pustaka

- [1] Pedroni, P. and Banemann, J. 2003. Microalgae for greenhouse gas abatement: An international R & D opportunity. *Ambiente TPoint* 1/2003, p. 24-28
- [2] Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25 (2007), pp. 294-306
- [3] Avagyan, A. 2008. Global prospects for microalgae production for biofuels and for the preservation of nature. *Global Fuels Magazine* February 2008, pp. 22-27
- [4] Barkeley, N.P., Farrel, C., and Williams, T. 1993. Emerging Technology: Electro-Pure Altering Current Electrocoagulation. US EPA Cincinnati
- [5] Holt PK, Barton GW, Mitchell CA. 2002. The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere* 59: 355-367.
- [6] Babu, K.R., Bhadrinarayana, N.S., Bagum, M.M.S, and Anantheraman, N. 2007. Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation. *J. of the Chemical and Technology and Metallurgy*, 42 (2), p. 201-206
- [7] Perng, Y.-S., Wang, E.-I.-C., Yu, S.-T., Chang, A.-Y., and Shih, C.-Y. 2007. Pilot treatment of OCC-based mill wastewater treatment using pulsed electrocoagulation. *Water Qual. Re. J. Canada*. Vol. 42 (1), p. 63-71
- [8] Ghafari, S., Hasan, M., Aroua, M.K. 2008. Bio-electrochemical removal of nitrate from water and wastewater – Review. *Bioresource Technology* 99, p. 3965-3974
- [9] Charoenlarp, K. and Choyphan, W. 2009. Reuse of dye wastewater through colour removal with electrocoagulation process. *As. J. Energy Env.* 10(04), p. 250-260
- [10] Ilham, F., Kurt, U., Apaydin, O., and Gonullu, M.T. 2008. Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *J. Hazardous Materials* 154, p. 381-389
- [11] Barash, A., Ozer, K., and Adin, A, Milstein, D. and Gasith, A. 2009. Electrocoagulation-constructed wetland hybrid for improved phosphate removal in effluent resuse. 4th SWITCH Scientific Meeting. Delft, Netherlands, 4th – 7th October 2009
- [12] APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th, ed. American Public Health Association (APHA), Washington DC
- [13] Suresh, B., Viruthagiri, T. and Sasikumar, E. 2009. Optimization of process variables using Response Surface Methodology (RSM) in the solid-state fermentative production of pectinase by *Aspergillus awamori*. *As. J. Food Ag-Ind*, 2(03), 302-314
- [14] Chowdhury, Z.Z., Zain, S.M., Khan, R.A., and Ahmad, A.A. and Khalid, K. 2012. Application of Response Surface

- Methodology (RSM) for optimizing production condition for removal of Pb (II) and Cu (II) onto kenaf fiber based activated carbon. Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology 4(5): 458-465
- [15] Shichang, L, Zhaoyang, Z., Shaobin, G., Hongxia, L, and Dongdong, W. 2011. Application of response surface methodology (RSM) for optimization of high-yielding L-lactic acid strains selected by low-energy ion implantation. African Journal of Food Science and Technology, Vol. 2(6), pp. 120-131
- [16] Azarian GH, Mesdaghini AR, Vaezi F, Nabizadeh R, Nematollahi D. 2007. Algae removal by electro-coagulation process, application for treatment of the effluent from an industrial wastewater treatment plant. J. Publ. Health 36: 57-64