

Pengaruh Penambahan Glukosa Sebagai *Co-substrate* dalam Pengolahan Air Limbah Minyak Solar Menggunakan Sistem *High Rate Alga Reactor* (HRAR)

Laksmisari Rakhma Putri, Agus Slamet, dan Joni Hermana

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: hermana@enviro.its.ac.id

Abstrak—Kandungan minyak dalam air limbah umumnya relatif sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme pada pengolahan air limbah secara biologis. Sistem alga dalam *High Rate Alga Reactor* (HRAR) telah banyak dikembangkan dan digunakan sebagai pengolah air limbah domestik dan industri. Aplikasi sistem alga dalam HRAR ini dicoba untuk diaplikasikan dalam pengolahan air limbah mengandung minyak solar. Penelitian dilakukan untuk mengkaji kemampuan HRAR dalam menurunkan kandungan minyak solar dengan penambahan glukosa sebagai *co-substrate*. Penambahan *co-substrate* diperkirakan dapat mendorong bakteri untuk memberikan suplai karbondioksida pada mikroalga. Penelitian ini dilakukan dengan dua variabel penelitian yaitu konsentrasi minyak solar sebesar 381 ppm dan 830 ppm dalam air limbah dan konsentrasi *co-substrate* berupa gula sebesar 5 gram, 7 gram, dan 10 gram ke dalam 18 Liter air pada reaktor. Setiap dua hari sekali selama 14 hari akan diambil sampel untuk kemudian dilakukan analisis masing-masing parameter. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi kinerja HRAR dalam menurunkan kandungan minyak solar adalah sebesar 84,27%. Efisiensi tertinggi ini didapatkan pada reaktor dengan variasi penambahan minyak solar 830 ppm dan *co-substrate* sebesar 10 gram ke dalam 18 Liter yang memiliki nilai COD 586,67 mg/L. Pada konsentrasi minyak solar sebesar 830 ppm, penambahan *co-substrate* memberikan pengaruh pada efisiensi penurunan kandungan minyak solar. Semakin besar penambahan *co-substrate*, semakin besar efisiensi penurunan kandungan minyak solar.

Kata Kunci—alga, glukosa, HRAR, solar, substrat

I. PENDAHULUAN

MINYAK bumi seperti solar sebagai kontaminan yang dapat mencemari lingkungan perlu diolah. *High Rate Alga Pond* (HRAP) merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah yang dapat menurunkan kadar organik [1]. Saat ini masih banyak teknologi pengolahan air limbah (IPAL) yang berjalan kurang efektif karena mahal biaya operasional dan rumitnya sistem pengoperasian. Sistem HRAP sebagai salah satu teknologi sistem pengolah limbah secara biologis memerlukan biaya operasional yang kecil sehingga sistem ini dapat dijadikan sebagai alternatif tambahan dalam pengolahan air limbah [2].

Sistem HRAP merupakan salah satu solusi yang layak untuk digunakan dalam mengolah air limbah dengan menggunakan budidaya alga. Sistem HRAP ini dapat

digunakan dalam skala besar dengan biaya yang murah. *High Rate Algae Reactor* (HRAR) merupakan modifikasi dari HRAP dengan ukuran yang lebih kecil untuk digunakan dalam skala laboratorium [3].

Penggunaan alga dalam proses pengolahan air limbah memiliki beberapa keuntungan yaitu prinsip pengolahan menggunakan alga berjalan secara alami seperti prinsip ekosistem alam sehingga ramah lingkungan dan tidak menghasilkan limbah sekunder. Keuntungan lainnya adalah daur ulang nutrien yang berjalan dengan efisien dan dapat menghasilkan biomassa yang dapat dimanfaatkan [4].

Pada penerapannya, dalam sistem HRAR ditambahkan substrat untuk meningkatkan jumlah biomassa. Jenis substrat yang ditambahkan dapat berupa karbon organik seperti glukosa [5]. Berdasarkan hubungan simbiosis yang terjadi antara alga dengan bakteri, semakin banyak jumlah bakteri maka akan semakin banyak CO₂ yang dihasilkan dan kemudian digunakan oleh alga untuk berfotosintesis. Sehingga dengan meningkatnya jumlah bakteri akan dapat juga meningkatkan jumlah produksi alga.

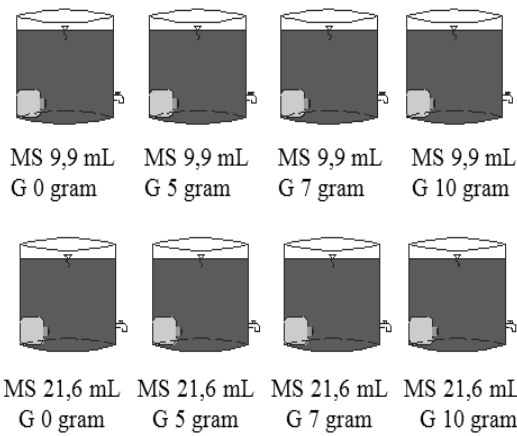
Pada penelitian ini akan dikaji lebih dalam tentang pengaruh penambahan glukosa sebagai *co-substrate* dalam pengolahan air limbah yang mengandung minyak bumi yaitu solar menggunakan sistem HRAP yang dimodifikasi menjadi HRAR.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan reaktor berupa toples tanpa tutup berbahan plastik dengan volume 18 Liter. Diperlukan juga pompa *submersible* untuk proses *mixing* sebanyak 1 buah untuk masing-masing reaktor. Selain itu perlu dipersiapkan peralatan serta bahan untuk analisis parameter di laboratorium. Terdapat delapan reaktor sesuai dengan masing-masing variabel yang digunakan pada penelitian ini (Gambar 1) yaitu minyak solar dan glukosa sebagai *co-substrat*. Minyak solar sebagai bahan pencemar yang akan ditambahkan didapatkan dari SPBU Pertamina. Glukosa yang ditambahkan berupa gula pasir. Alga yang digunakan berasal dari saluran drainase air limbah domestik kota Surabaya yang telah ada di jurusan Teknik Lingkungan ITS.

Pada penelitian ini perlu dilakukan *seeding* dan aklimatisasi. Proses ini dilakukan untuk menumbuhkan alga

sehingga dapat diperoleh alga yang siap untuk digunakan dalam penelitian. Dalam proses *seeding* dilakukan analisis COD, total N, ortopospat untuk merepresentasikan rasio C:N:P dalam sistem HRAR yaitu minimal sebesar 100:16:1 [6]. Selain itu dilakukan analisis klorofil a untuk mengetahui jumlah alga yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar. 1. Reaktor Penelitian dengan Variabel Minyak Solar (MS) dan *Co-substrat* Berupa Gula (G)

Pada penelitian ini, terlebih dahulu dilakukan penelitian pendahuluan yang bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi minyak solar yang dapat ditoleransi oleh sistem alga. Variasi konsentrasi minyak solar pada masing-masing reaktor adalah sebesar 381 ppm, 830 ppm, 1280 ppm, 1730 ppm serta satu reaktor kontrol tanpa penambahan minyak solar. Pada akhir penelitian pendahuluan dipilih dua konsentrasi minyak solar yang paling optimum berdasarkan prosentase penurunan nilai klorofil a dan MLSS. Konsentrasi minyak solar yang dipilih dan akan digunakan pada pelaksanaan penelitian selanjutnya yaitu 381 ppm dan 830 ppm.

Pada penelitian utama ini dilakukan dua kali *running*. *Running I* penelitian ini dilakukan selama 14 hari dengan penambahan minyak solar dan *co-substrat* pada hari ke-0. Pada *running I* penelitian ini dilakukan analisis parameter setiap dua hari sekali. *Running I* bertujuan untuk mengetahui *removal* kandungan minyak solar yang dianalisis sebagai *oil & grease*. Penyisihan kandungan minyak solar didapatkan dari selisih konsentrasi *oil & grease* pada hari ke-0 dan hari ke-14.

Pada hari ke-15 sampai ke-29 dilanjutkan dengan *running II*. Pada *running II* dilakukan penambahan biakan alga baru sebanyak 2 Liter pada masing-masing reaktor. Penambahan biakan alga baru dilakukan pada hari ke-14. *Running II* bertujuan untuk mengetahui *recovery* alga di dalam sistem HRAR setelah ditambahkan biakan alga baru yang tidak tercemar minyak solar.

Dari hasil analisis masing-masing parameter kemudian dilakukan analisis data dan pembahasan. Hasil analisis dari setiap parameter akan didapatkan sesuai dengan fungsi waktu. Pada analisis dilakukan pembahasan mengenai kemampuan HRAR dalam menyisihkan kandungan minyak solar di dalam air limbah serta pengaruh penambahan *co-substrat* dalam proses *removal* minyak solar di dalam air limbah. Dari hasil analisis data dan pembahasan tersebut kemudian dapat ditarik suatu kesimpulan.

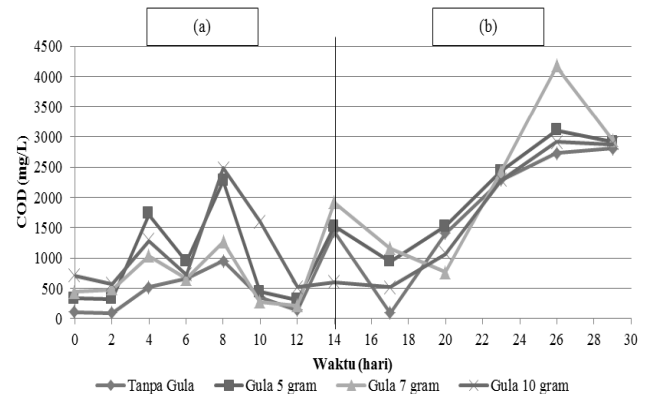
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Seeding

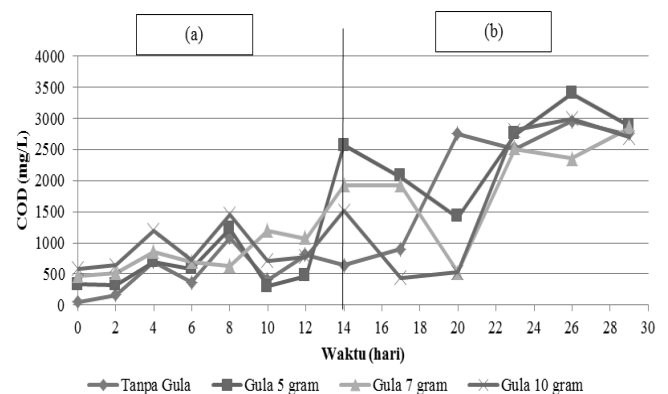
Proses *seeding* bertujuan untuk menumbuhkan alga. proses ini berlangsung selama 7 hari. Pada proses *seeding* dilakukan analisis COD, total N, dan orthophospat untuk mendapatkan rasio C:N:P dengan hasil 150:26:1. Rasio C:N:P yang telah memenuhi standar minimal sebesar 100:16:1 menunjukkan bahwa alga di dalam HRAR telah tercukupi kebutuhannya dan dapat digunakan dalam penelitian. Selain itu juga dilakukan analisis klorofil a menggunakan metode spektrofotometer dan didapatkan nilai sebesar 26,18 mg/L. Analisis klorofil a menunjukkan banyaknya alga yang terdapat dalam sistem HRAR tersebut.

B. Kinerja HRAR pada Penyisihan COD

Analisis COD dilakukan dengan menggunakan metode *closed reflux*. Baik pada konsentrasi minyak solar 381 ppm (Gambar 2) maupun 830 ppm (Gambar 3), nilai COD memiliki tren yang meningkat hingga akhir penelitian. Pada hari-hari awal peningkatan nilai COD disebabkan karena adanya penambahan *co-substrate* organik berupa gula pasir yang dihitung sebagai COD. Peningkatan COD yang juga diiringi dengan penurunan pH menandakan adanya penurunan kinerja dari mikroorganisme [7].



Gambar. 2. Grafik Analisis COD Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm: (a) Penambahan Minyak Solar (b) Penambahan Biakan Alga

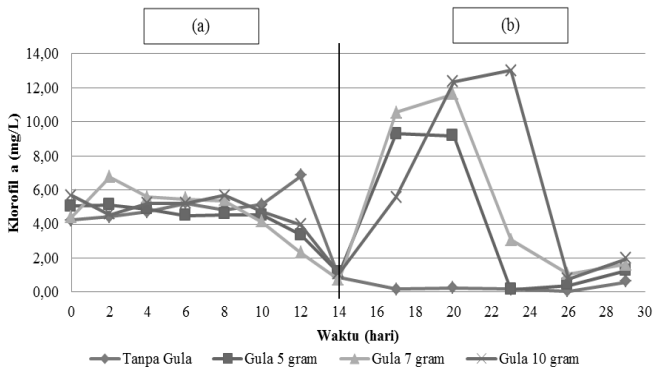


Gambar. 3. Grafik Analisis COD Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm: (a) Penambahan Minyak Solar (b) Penambahan Biakan Alga

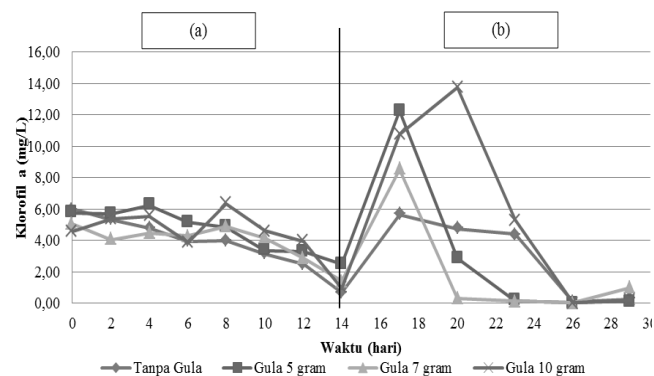
Penurunan kinerja mikroorganisme dapat disebabkan karena adanya substrat organik dengan kadar tinggi [8]. Nilai COD yang meningkat juga dapat disebabkan karena eksudat yang dikeluarkan oleh mikroorganisme sebagai respon terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim [9]-[10].

C. Pengaruh Penambahan Co-substrate pada Pertumbuhan Klorofil a

Analisis klorofil a dilakukan dengan menggunakan metode *Spectrophotometric Determination of Chlorophyll a*. Hasil analisis klorofil a seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan penurunan setelah hari ke-8 pada running I. Keberlangsungan hidup alga di dalam reaktor dipengaruhi oleh adanya cahaya matahari karena cahaya matahari diperlukan oleh alga untuk melakukan fotosintesis. Selain cahaya matahari, alga juga memerlukan nutrisi, pH, dan temperatur yang sesuai untuk keberlangsungan hidupnya [11].



Gambar. 4. Grafik Analisis Klorofil A Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm: (a) Penambahan Minyak Solar (b) Penambahan Biakan Alga

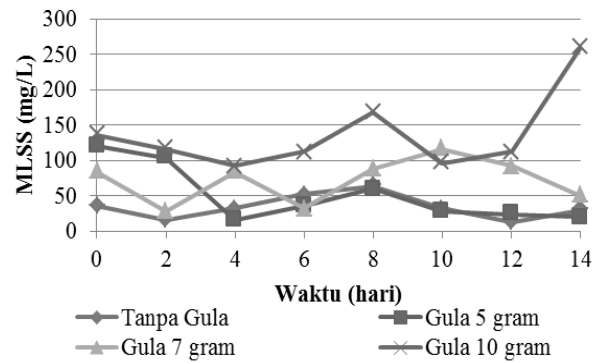


Gambar. 5. Grafik Analisis Klorofil A Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm: (a) Penambahan Minyak Solar (b) Penambahan Biakan Alga

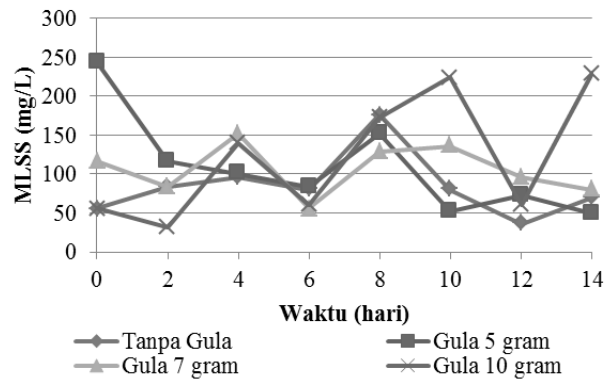
Penurunan nilai klorofil a dapat disebabkan karena ketersediaan nutrisi yang terbatas di dalam sistem *batch*. Setelah adanya penambahan biakan alga baru pada running II, nilai klorofil a dapat meningkat karena adanya alga baru dan nutrisi yang bertambah. Namun setelah hari ke-20 nilai klorofil a menurun diperkirakan karena nutrisi yang habis.

D. Pengaruh Penambahan Co-substrate pada Perkembangan Nilai MLSS

Analisis MLSS dilakukan dengan menggunakan metode *Total Solid Dried at 103 – 105°C*. Analisis MLSS hanya dilakukan pada running I yaitu di hari ke-0 hingga hari ke-14. Baik pada Gambar 6 maupun Gambar 7 terlihat bahwa pada reaktor tanpa penambahan *co-substrate* dan penambahan sebanyak 5 gram, nilai MLSS menunjukkan tren yang menurun. Sementara dengan penambahan *co-substrate* sebanyak 5 gram, nilai MLSS meningkat landai. Penurunan nilai MLSS ini disebabkan karena mikroorganisme yang mengalami lisis yang juga dapat berakibat pada meningkatnya nilai COD [12].



Gambar. 6. Grafik Analisis MLSS Konsentrasi Minyak Solar 381 ppm



Gambar. 7. Grafik Analisis MLSS Konsentrasi Minyak Solar 830 ppm

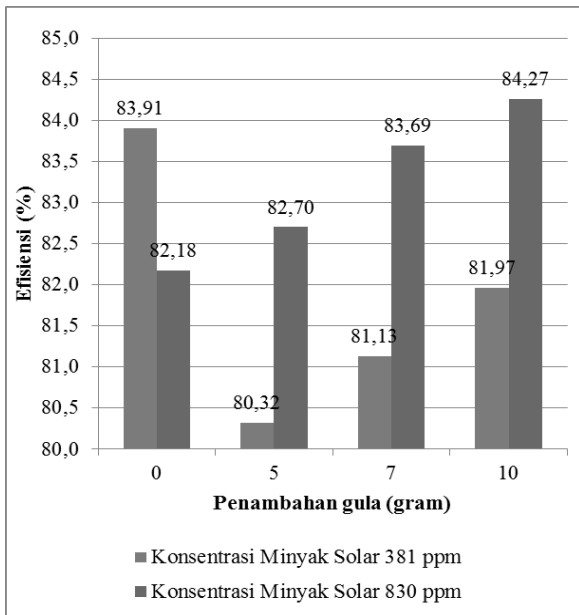
Pada penambahan *co-substrate* sebanyak 10 gram, nilai MLSS terlihat jelas memiliki tren meningkat. Nilai MLSS pada penambahan *co-substrate* sebanyak 10 gram menunjukkan nilai yang seringkali lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan *co-substrate* dalam jumlah lebih sedikit. Semakin banyak penambahan *co-substrat* terbukti dapat semakin meningkatkan nilai MLSS. Penurunan nilai MLSS pada hari-hari awal penelitian disebabkan karena mikroorganisme memerlukan waktu untuk beradaptasi sebelum bisa bekerja menguraikan bahan organik dengan stabil [13].

E. Pengaruh Co-substrate terhadap Penurunan Oil & Grease pada Sistem HRAR

Analisis *oil & grease* dilakukan pada awal dan akhir running I dengan menggunakan metode *Soxhlet Extraction Method*. Efisiensi dari penurunan kandungan minyak solar dalam air limbah didapatkan melalui selisih konsentrasi *oil & grease* di akhir dan di awal running I.

Pada Gambar 8 ditunjukkan hasil efisiensi penurunan kandungan minyak solar pada masing-masing reaktor. Efisiensi tertinggi penurunan kandungan minyak solar tercapai pada reaktor dengan variasi konsentrasi minyak solar sebesar 830 ppm dan penambahan 10 gram gula sebagai *co-substrate*. Pada konsentrasi minyak solar 830 ppm dapat dilihat kecenderungan peningkatan efisiensi seiring dengan peningkatan jumlah banyaknya gula yang ditambahkan ke dalam reaktor. Pada konsentrasi minyak solar 381 ppm, semakin banyak penambahan gula menyebabkan semakin tingginya nilai efisiensi penyisihan kandungan minyak. Namun pada konsentrasi minyak solar 381 ppm dan tanpa penambahan gula, diduga tingginya efisiensi penyisihan kandungan minyak solar dikarenakan bakteri yang kelaparan sehingga penurunan kandungan

minyak solar tinggi.



Gambar. 8. Grafik Efisiensi Penurunan Kandungan Minyak Solar

Penambahan glukosa sebagai *co-substrate* dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan minyak solar.

Pada sistem HRAR juga terjadi proses adsorpsi. Penurunan kandungan minyak solar di dalam reaktor juga disebabkan karena minyak solar menempel pada alga yang ada di dalam reaktor, dimana di tepian dalam reaktor terbentuk lapisan tipis yang berminyak.

IV. KESIMPULAN

Pada konsentrasi minyak solar sebesar 830 ppm, penambahan *co-substrate* memberikan pengaruh dalam efisiensi penurunan kandungan minyak solar. Semakin besar penambahan *co-substrate*, semakin besar efisiensi penurunan kandungan minyak solar. Efisiensi tertinggi kinerja HRAR dalam menurunkan kandungan minyak solar adalah sebesar 84,27%. Efisiensi tertinggi ini didapatkan pada reaktor dengan variasi konsentrasi minyak solar 830 ppm dan *co-substrate* sebesar 10 gram ke dalam 18 Liter yang memiliki nilai COD 586,67 mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mesple, F., Casellas, C., Troussellier, M., dan Bontoux, J., "Some difficulties in modelling chlorophyll a evolution in a high rate alga pond ecosystem," *Ecological Modelling*, Vol. 78 (1995) 25-36.
- [2] Supradata, *Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Tanaman Hias Cyperus alternifolius, L. dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF Wetlands)*. Laporan Thesis, Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro, Semarang (2005, Aug).
- [3] Lundquist, T. J., Woertz, I. C., Quinn, N. W. T., dan Benemann, J. R., *A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel Production*. Energy Bioscience Institute, University of California, Berkeley, California (2010, Oct).
- [4] Santoso, A. D., Darmawan, R. A., dan Susanto, J. P., "Mikroalga untuk penyerapan emisi CO₂ dan pengolahan limbah cair di lokasi industri," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 3, No. 2 (2011, Dec) 62-70.
- [5] Perez-Garcia, O., Escalante, F. M. E., de-Bashan, L. E., dan Bashan, Y., "Heterotrophic cultures of microalgae: metabolism and potential products," *Water Research*, Vol. 45 (2011) 11-36.

- [6] Redfield, A. C., Ketchum, B. M., dan Richards, F. A., *The Influence of Organism on the Composition of Seawater*. M. N. Hill [ed.], The Sea, Wiley (1963).
- [7] Mai, H. N. P., *Integrated Treatment of Tapioka Processing Industrial Wastewater: Based on Environmental Bio-Technology*, Ph.D Thesis, Wageningen University (2006, Oct).
- [8] Mulyani, H., *Pengaruh Pre-Klorinasi dan Pengaturan pH terhadap Proses Aklimatisasi dan Penurunan COD Pengolahan Limbah Cair Tapioka*, Laporan Thesis, Magister Teknik Kimia, Universitas Diponegoro (2012, Jun).
- [9] Iswara, A. P., *Pengaruh Aerasi dan Pencahayaan Alami pada Kemampuan High Rate Algae Reactor (HRAR) dalam Penurunan Bahan Organik Limbah Domestik Perkotaan*, Laporan Tugas Akhir, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2011).
- [10] Malinsky-Rushansky, N. Z. dan Legrand, C., "Excretion of dissolved organic carbon by phytoplankton of different sizes and subsequent bacterial uptake", *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 132 (1996) 249-255.
- [11] Mulyanto, A., "Mikroalga (*Chlorella, sp.*) sebagai agensia penambat gas karbon dioksida", *Jurnal Hidrosfer Indonesia*, Vol. 5, No. 2 (2010) 13-23.
- [12] Budhi, Y. B., Setiadi, T., dan Harimurti, B., "Peningkatan biodegradabilitas limbah cair printing industri tekstil secara anaerob", *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo, Institut Teknologi Bandung* (1999).
- [13] Olafadehan, O. A. dan Alabi, A. T., "Modelling and simulation of methanogenic phase of an anaerobic digester", *Journal of Engineering Research*, Vol. 13, No. 2 (2009) 1-18.