

Pengaruh Konsentrasi Nutrien dan Konsentrasi Bakteri Pada Produksi Alga Dalam Sistem Bioreaktor Proses *Batch*

Minarti Oktafiani 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—Bertambahnya populasi penduduk sebanding dengan meningkatnya kebutuhan manusia, sehingga berdampak negatif terhadap peningkatan kebutuhan akan energi khususnya energi yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi. Oleh sebab itu diperlukan energi alternatif sebagai pengganti bahan baku minyak bumi. Salah satu energi alternatif yang digunakan sebagai pengganti bahan baku minyak bumi adalah *biodiesel*. Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengkaji pengaruh konsentrasi nutrien dan konsentrasi bakteri pada produksi alga dalam sistem bioreaktor proses *batch*. Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan dua variabel yaitu variabel pertama dengan penambahan nutrien (N dan P) dengan menggunakan pupuk NPK sebanyak tiga variasi konsentrasi yaitu 7,5 mg/L, 15 mg/L, 30 mg/L dan variabel kedua penambahan bakteri dengan menggunakan biakan bakteri dari saluran drainase sebanyak tiga variasi konsentrasi yaitu 50 mL, 100 mL, 150 mL. Dalam penelitian ini juga menambahkan *mixing* pompa sebagai pengadukan selama 24 jam dan waktu pencahayaan dengan bantuan cahaya lampu *flourescent* selama 12 jam. Penelitian ini dilakukan didalam ruangan. Waktu dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan selama 14 hari dengan dua kali *running* dan waktu kontak 10 hari. Parameter yang akan diteliti dalam penelitian ini terbagi menjadi dua bagian yaitu parameter utama dan parameter tambahan. Parameter tersebut adalah konsentrasi MLSS/MLVSS, N-amonia, N-nitrat, Fosfat, Klorofil a sebagai parameter utama sedangkan untuk pH, suhu dan DO sebagai parameter tambahan. Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh hasil kondisi optimum penambahan konsentrasi nutrien dan konsentrasi bakteri yang dilakukan didalam ruangan yaitu penambahan nutrien sebesar 7,5 mg/L dan bakteri sebesar 150 mL, karena memiliki nilai klorofil a yang seimbang dibandingkan reaktor yang lainnya. Oleh sebab itu, penambahan nutrien dan bakteri yang tepat dapat memproduksi alga dengan jumlah yang optimal di dalam ruangan.

Kata Kunci—alga, bakteri, klorofil a, nutrien

I. PENDAHULUAN

BERTAMBAHNYA populasi penduduk sebanding dengan meningkatnya kebutuhan manusia, sehingga berdampak negatif terhadap peningkatan kebutuhan akan

energi khususnya energi yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi [1]. Tingkat konsumsi minyak rata – rata naik 6% pertahunnya [2]. Sehingga membuat cadangan minyak bumi di masa yang akan datang akan mengalami kelangkaan. Oleh sebab itu diperlukan pencarian energi alternatif sebagai pengganti bahan baku minyak bumi.

Salah satu energi alternatif yang digunakan sebagai pengganti bahan baku minyak bumi adalah *biodiesel*. *Biodiesel* merupakan sumber energi alternatif yang diperoleh dari minyak nabati, seperti minyak kelapa sawit, minyak jagung, dan minyak hewani sebagai pengganti minyak fosil [3]. Alga merupakan salah satu bahan yang di coba untuk dimanfaatkan sebagai pembuatan bioediesel, karena alga memiliki kandungan lipida yang cukup baik. Alga yang sering digunakan sebagai jenis riset penelitian berasal dari mikroalga. Berdasarkan penelitian terdahulu, mikroalga memiliki pertumbuhan yang cepat dan kemampuan yang besar untuk menghasilkan minyak alami sampai dengan 60% dari berat keringnya [4]. Dan menurut prediksi Schultz, 2006 [5] minyak alami yang dihasilkan dari minyak alga sebesar 7660 liter pada setiap hektarnya. Angka tersebut lebih banyak dihasilkan dibandingkan dengan minyak nabati dari tumbuhan lain yang luas lahannya sama [1].

Selain itu juga untuk memperoleh mikroalga yang cepat dan optimum dalam pertumbuhannya maka dibutuhkan beberapa suplai nutrisi antara lain substrat dan nutrien. Nutrien ini dapat berupa nitrogen dan fosfat. Oleh sebab itu perlu adanya studi pengembangan untuk meneliti bagaimana potensi kandungan biodiesel dari bahan baku alga yang ada di perairan air tawar Kota Surabaya. Dalam penelitian ini akan diteliti mengenai pengaruh konsentrasi nutrien dan konsentrasi bakteri pada produksi alga dalam sistem bioreaktor proses *batch*.

II. METODE

Pada penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan tahapan penelitian seperti dibawah ini.

A. Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dilakukan persiapan alat-alat dan bahan-bahan yang diperlukan untuk penelitian. Alat-alat yang dipersiapkan berupa galon dan rak besi sebagai reaktornya, lampu *fluorescent*, dan *mixing pump*. Sementara bahan-bahan yang dipersiapkan sesuai dengan metode analisis yang akan digunakan, yang mana metode analisis ammonia dengan menggunakan *nesslerization*, metode analisis nitrat dengan menggunakan *brucin acetat*, dan metode analisis fosfat dengan *ammonium molybdate*. Ketiga metode ini digunakan untuk mengetahui konsentrasi nutrisi. Sedangkan untuk mengetahui konsentrasi bakteri dengan menggunakan analisis MLVSS dengan penyaringan kertas saring *whatman 42*.

B. Analisis Karakteristik Awal Air pada Saluran Drainase di jalan Arif Rahman Hakim, Surabaya

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap konsentrasi rasio COD, N-ammonia, N-Nitrat, Fosfat. Rasio ini dijadikan sebagai acuan penambahan substrat dan nutrisi yang akan digunakan untuk pengoperasian reaktor. Hasil analisis menunjukkan rasio COD:N:P pada saluran drainase di jalan Arif Rahman Hakim, Surabaya sebesar 28:7:1. Sedangkan untuk acuan penambahan bakteri pada reaktor mengacu pada rasio alga : bakteri yaitu 1 : 100 [6].

C. Seeding dan Aklimatisasi

Pada tahap ini dilakukan *seeding* agar mendapatkan alga yang siap digunakan dalam pengoperasian pada reaktor yang sudah dipersiapkan sebelumnya sehingga diperoleh konsentrasi klorofil a yang tinggi. Konsentrasi klorofil a pada saat pengambilan di sumber sebesar 1,8 mg/L. *Seeding* dilakukan dengan menambahkan gula. Gula ini sebagai kandungan COD dan pupuk NPK sebagai kandungan nutrisi. Penambahan gula dan pupuk NPK disesuaikan dengan rasio C:N:P ideal bagi pertumbuhan alga yaitu sebesar 106:16:1 [7].

Aklimatisasi dilakukan untuk menyesuaikan alga dengan kondisi aslinya. Aklimatisasi ini merupakan proses lanjutan dari hasil *seeding* yang mana konsentrasi COD, N, dan P sama dengan konsentrasi air yang ada pada saluran drainase di jalan Arif Rahman Hakim, Surabaya yang dikondisikan pada reaktor sistem *batch*. Aklimatisasi dilakukan selama lebih dari satu minggu.

Hasil dari *seeding* dan aklimatisasi hanya dilihat secara visual saja. Pada awal melakukan *seeding* warna sampel berwarna hijau tipis sehingga konsentrasi alganya pun kecil. Lama – kelamaan warna sampel berubah menjadi hijau pekat dengan dilakukannya penambahan substrat dan nutrisi. Hal ini menandakan bahwa alga sudah tumbuh dengan cepat sehingga siap untuk melakukan *running* reaktor.

D. Persiapan dan Pembuatan Reaktor

Pada tahap ini dilakukan pembuatan reaktor. Reaktor yang digunakan yaitu dengan sistem *batch* sebanyak sembilan buah dengan variasi konsentrasi nutrisi dan konsentrasi bakteri yang berbeda-beda. Konsentrasi nutrisi dan konsentrasi

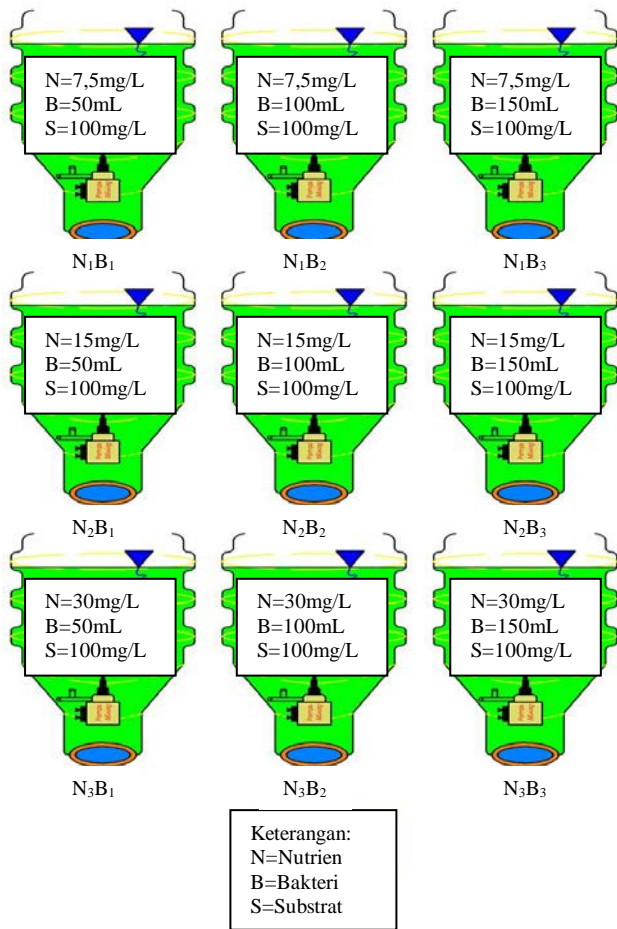
bakteri ini dapat mempengaruhi produksi alga dalam reaktor. Masing-masing variasi konsentrasi nutrisi dan konsentrasi bakteri adalah 3 reaktor pertama dengan variasi konsentrasi nutrisi sebesar 7,5 mg/L dan konsentrasi bakteri sebesar 50 mL, 100 mL dan 150 mL, 3 reaktor kedua dengan variasi konsentrasi nutrisi sebesar 15 mg/L dan konsentrasi bakteri sebesar 50 mL, 100 mL dan 150 mL dan 3 reaktor terakhir dengan variasi konsentrasi nutrisi sebesar 30 mg/L dan konsentrasi bakteri sebesar 50 mL, 100 mL dan 150 mL. Reaktor sistem *batch* ini juga menggunakan cahaya lampu buatan dengan daya 40 watt selama 12 jam dan *mixing* pompa selama 24 jam dengan *head* pompa sebesar 1,2 rpm berfungsi sebagai pengadukan agar dapat mengoptimalkan kinerja reaktor alga sehingga terhindar dari pengendapan. Fungsi lain dari pengadukan adalah memberikan oksigen secara vertikal serta membawa alga ke dalam zona yang bagus dalam penetrasi cahaya yaitu 300 mm dari permukaan supaya alga dapat melakukan proses fotosintesis secara optimum [8].

E. Pelaksanaan penelitian

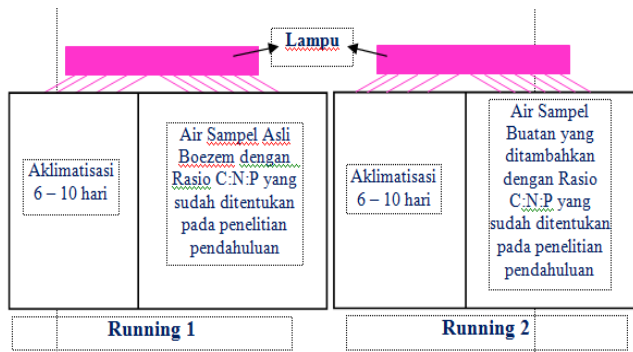
Pada penelitian ini diawali dengan melakukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui kondisi perairan air tawar yang ada di Kota Surabaya yang dideteksi mengandung alga. Tahap ini dilakukan sebelum melakukan pelaksanaan penelitian. Salah satu kondisi perairan/boezem yang ada di Kota Surabaya yang mengandung alga adalah Saluran Drainase di jalan Arif Rahman Hakim, Surabaya yang dideteksi mengandung alga dan klorofil yang besar. Setelah itu melakukan *seeding* dan aklimatisasi.

Sehingga pada penelitian utama yang akan dilakukan adalah dengan variasi konsentrasi penambahan nutrisi dan variasi konsentrasi penambahan bakteri, yang mana menggunakan lampu *fluorescent* selama 12 jam dan *mixing* pompa selama 24 jam. Hal ini diperoleh dari hasil penelitian pendahuluan yang dilakukan sebelumnya. Variasi konsentrasi nutrisi dan konsentrasi bakteri didapatkan dari hasil penelitian terdahulu yang dianggap memiliki keasamaan karakteristik dengan saluran drainase di jalan Arif Rahman Hakim, Surabaya dan juga dihasilkan dari karakteristik awal saluran drainase tersebut. Berikut adalah penambahan variabel nutrisi, bakteri dan substrat pada masing – masing reaktor dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui produksi alga didalam ruangan dengan bantuan cahaya buatan yaitu cahaya lampu *fluorescent* dengan menggunakan reaktor *batch*. Pelaksanaan penelitian dilakukan selama 14 hari dengan waktu kontak 10 hari. Penelitian ini juga dilakukan sebanyak dua kali *running*. *Running* pertama menggunakan sampel asli yaitu saluran drainase di jalan Arif Rahman Hakim, Surabaya sedangkan *Running* dua menggunakan air PDAM di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Berikut pada Gambar 2 merupakan skema pelaksanaan *running* reaktor.



Gambar 1 Variabel Konsentrasi Nutrien, Konsentrasi Bakteri, dan Konsentrasi Substrat pada masing-masing reaktor



Gambar 2 Skema pelaksanaan running reaktor

F. Analisis Data dan Kesimpulan

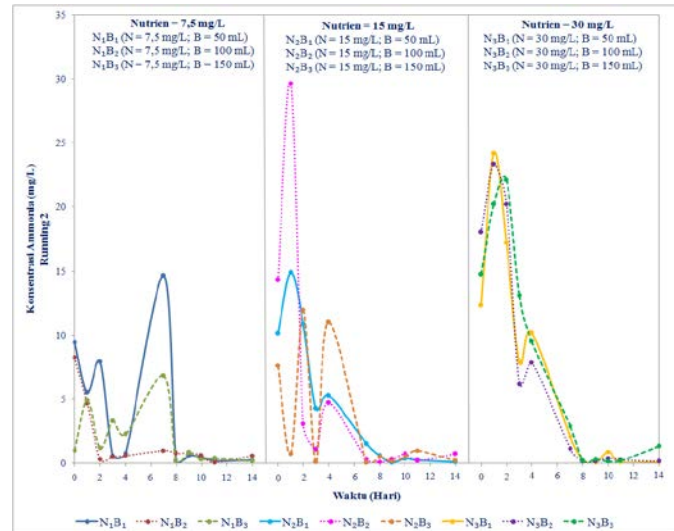
Analisis dilakukan terhadap data-data yang diperoleh saat pelaksanaan penelitian. Analisis dilakukan terhadap parameter-parameter yang diukur. Dari hasil penelitian tersebut, dapat dijadikan suatu kesimpulan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis Ammonia (N-NH₃)

Ammonia adalah salah satu produk utama untuk memenuhi kebutuhan nutrien pada pertumbuhan alga, disebabkan alga terlebih dahulu meng-uptake ammonia

dibandingkan nitrat. Pada analisis Ammonia (N-NH₃) dilakukan dengan menggunakan metode *Nesslerization* [9]. Analisis ini dilakukan setiap hari pada pukul 06:30 WIB. Berikut merupakan grafik hasil dari analisis konsentrasi ammonia (Gambar 1)



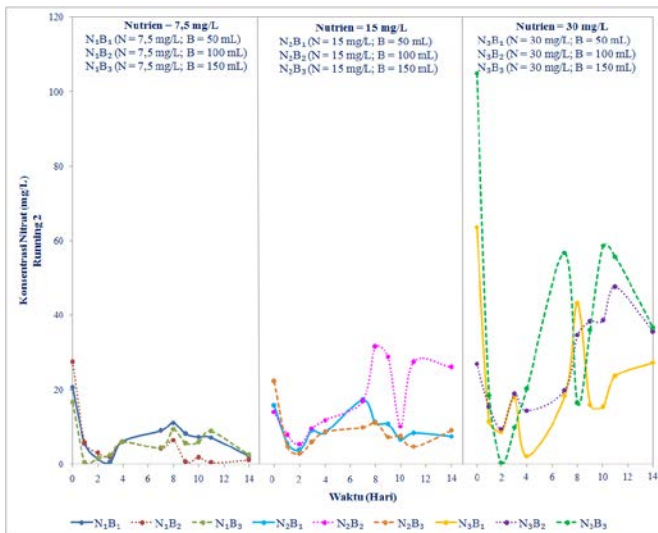
Gambar 1. Konsentrasi Ammonia

Dari Gambar 1. diatas hampir semua reaktor pada analisis ammonia ini terjadi penurunan drastis pada ke-tiga atau ke-empat hari pertama, karena dalam tiga hari pertama, nutrisi akan menurun dengan cepat akibat adanya pencampuran oleh alga. Pada hari ke-tiga atau hari ke-empat ini merupakan kondisi optimum, sehingga seluruh nitrogen-ammonia terdapat sel – sel alga dan diikuti kenaikan konsentrasi yang kecil sebagai akibat dari pelepasan nutrisi seluler.

B. Hasil Analisis Nitrat (N-NO₃)

Analisis selanjutnya setelah analisis ammonia adalah analisis nitrat. Nitrat adalah salah satu nutrien yang digunakan oleh alga untuk proses pertumbuhannya karena alga meng-uptake nitrat sebagai nutrisinya ketika di dalam air tidak mengandung ammonia [10]. Analisis nitrat dilakukan dengan menggunakan metode *Brucin Acetat* [9]. Analisis ini dilakukan setiap hari pada pukul 06:30 WIB.. Berikut adalah grafik hasil dari analisis konsentrasi nitrat (Gambar 2)

Jika dilihat dari grafik diatas, tren konsentrasi nitrat mengalami peningkatan mulai dari hari ke-tiga sampai akhir waktu kontak. Terjadinya peningkatan konsentrasi ini, dikarenakan terjadinya proses nitrifikasi, yang mana ammonia teroksidasi menjadi nitrat. Disebabkan alga lebih menyukai meng-uptake ammonia terlebih dahulu daripada nitrat.



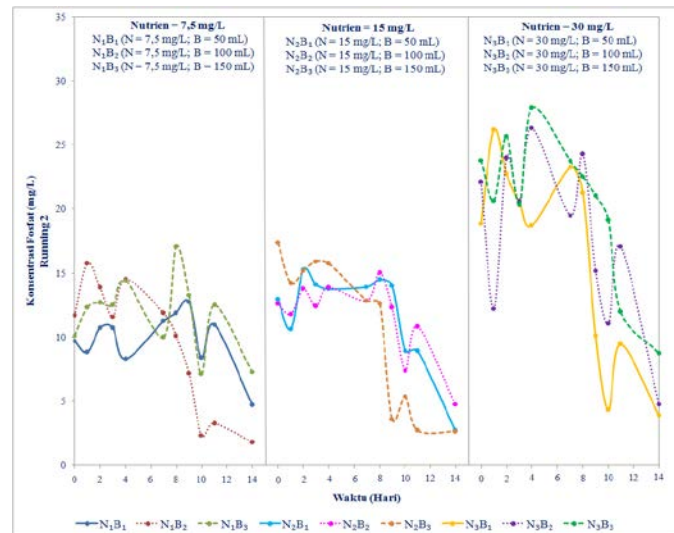
Gambar 2. Konsentrasi nitrat

Nitrat ini adalah hasil akhir dari proses nitrifikasi. Nitrifikasi ialah proses dimana dengan bantuan bakteri yang mereduksi komponen nitrogen – ammonia menjadi nitrit dan nitrat [11]. Ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya proses nitrifikasi antara lain : *Dissolved oxygen* (DO) dimana konsentrasi oksigen lebih besar dari 2 mg/L (DO>2 mg/L) [12] ; pH yang mana pH ideal untuk proses ini adalah antara 7,5 – 8,5; suhu antara 20 – 35°C, akan tetapi pada suhu dibawah 5°C akan mengalami penurunan drastis proses terjadinya nitrifikasi [13].

C. Hasil Analisis Fosfat (PO₄)

Analisis Fosfat dilakukan dengan menggunakan metode *Ammonium Molybdate* [9]. Analisis ini dilakukan setiap hari pada pukul 06:30 WIB. Berikut adalah grafik hasil dari analisis konsentrasi fosfat (Gambar 3)

Dari Gambar 3. Menunjukkan tren dari ketiga reaktor tersebut pada umumnya sama, yaitu pada awalnya konsentrasi fosfat meningkat, kemudian turun di hari ke- tujuh sampai pada hari ke-sepuluh, setelah itu meningkat lagi sampai akhir penelitian. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi fosfat disebabkan adanya *uptake* alga. Rasio N : P dalam meng- *uptake* alga sebesar 15 : 1 [14] serta adanya pengadukan yang kontinu yang mencegah terjadinya sedimentasi sel – sel alga. Sedangkan kenaikan konsentrasi fosfat terjadi akibat dari fosfat yang terserap oleh alga terakumulasi dalam bentuk polifosfat yang dapat menyebabkan kematian dan pecahnya sel alga hijau [15].



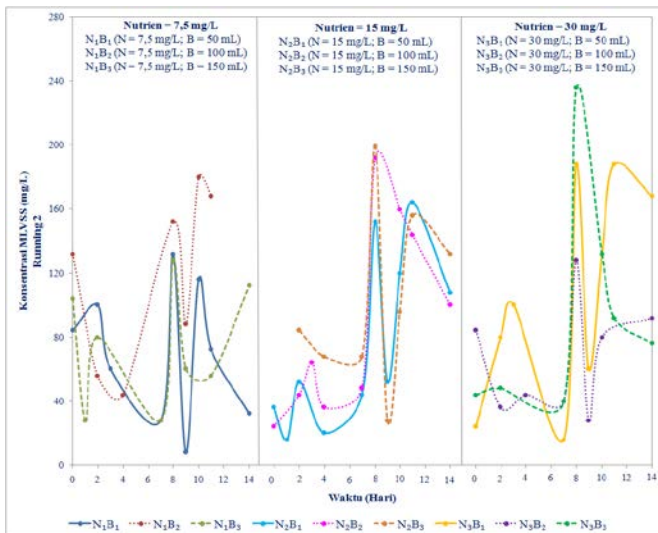
Gambar 3. Konsentrasi fosfat

Kebanyakan alga memanfaatkan fosfat dalam bentuk ortofosfat (HPO₄⁻), karena kebutuhan fosfat oleh alga hanya dalam jumlah tertentu. Fungsi fosfat untuk pertumbuhan alga adalah sebagai tempat pembelahan sel, penyusun lemak dan protein serta merupakan bagian dari inti sel [16].

D. Hasil Analisis MLVSS

Analisis MLVSS atau *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids* dilakukan dengan menggunakan metode Gravimetri 2540 D [9]. Analisis ini dilakukan setiap hari pada pukul 06:30 WIB. Tujuan dari analisis MLVSS adalah untuk mengetahui konsentrasi mikroorganisme, alga sehingga diperoleh nantinya perbandingan biomassa dan alga pada reaktor. Berikut adalah grafik hasil dari analisis konsentrasi MLVSS (Gambar 4). Konsentrasi MLVSS ini menandakan jumlah biomassa pada reaktor. Semakin tinggi jumlah biomassa maka semakin tinggi pula jumlah bakterinya.

Dari grafik hasil konsentrasi MLVSS menunjukkan bahwa pada hari ke-nol hingga hari ke-tujuh mengalami penurunan kemudian naik kembali pada hari ke-delapan lalu turun kembali sampai hari ke-empat belas. Kejadian seperti ini hampir disemua reaktor. Penurunan konsentrasi MLVSS ini diprediksi akibat dari konsentrasi biomassa mengalami gangguan sehingga menyebabkan bakteri mati. Apabila bakteri mati, bakteri biasanya akan terurai menjadi bahan organik dan nutrien. Hal inilah yang menyebabkan kandungan nutrien menjadi meningkat.



Gambar 4. Konsentrasi MLVSS

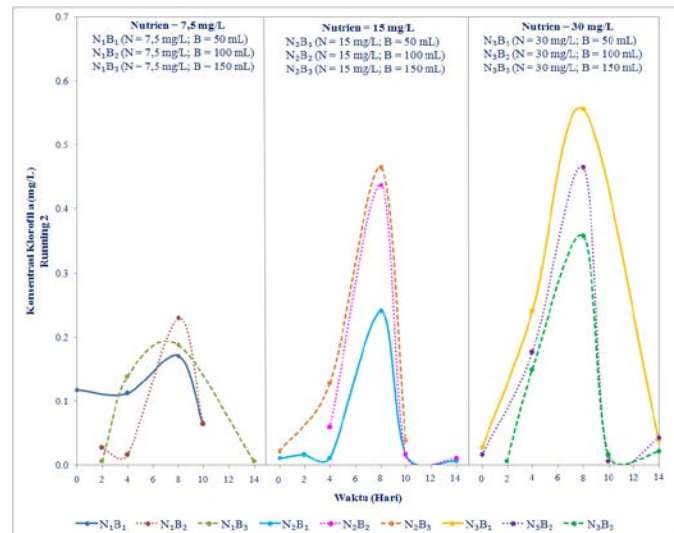
Akibat adanya penurunan konsentrasi MLVSS di awal pengoperasian mengakibatkan konsentrasi MLVSS meningkat tajam pada saat – saat akhir penelitian. Kejadian ini hampir di semua reaktor. Hal ini menandakan bahwa adanya nutrisi yang berlebih karena penurunan konsentrasi MLVSS, maka jumlah biomassa akan juga ikut meningkat. Jumlah biomassa yang meningkat membuktikan bahwa jumlah bakteri yang ada di dalam reaktor juga akan meningkat. Besarnya Konsentrasi MLVSS dipengaruhi oleh produksi oksigen dari hasil fotosintesis alga. Oksigen sangat di butuhkan oleh bakteri sebagai proses respirasi di waktu malam hari akibatnya apabila terjadi oksigen yang tinggi maka akan terjadi peningkatan bakteri didalam reaktor.

Dari grafik diatas juga dapat disimpulkan bahwa penambahan bakteri yang mempengaruhi pada produksi alga di dalam ruangan adalah pada penambahan 150 mL dengan penambahan nutrisi sebesar 15 mg/L, disebabkan mempunyai nilai yang paling besar dan nilai mempunyai nilai yang signifikan dibandingkan reaktor lainnya.

E. Hasil Analisis Klorofil a

Analisis Klorofil a dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometri 10200 [9]. Analisis ini dilakukan setiap dua hari sekali pada pukul 06:30 WIB. Sampel klorofil a ini tidak boleh di simpan dalam lemari es sebelum di ekstrak terlebih dahulu karena akan mempengaruhi jumlah kerapatan alga pada sampel tersebut. Tujuan dilakukannya analisis klorofil a ini sebagai parameter yang menunjukkan keberadaan alga di dalam reaktor uji.

Klorofil sangat dipengaruhi oleh cahaya. Cahaya berperan penting dalam keberadaan suatu alga. Dalam hal ini cahaya yang digunakan untuk penelitian ini adalah cahaya lampu. Pada alga, sintesa klorofil dapat terjadi dengan baik dalam gelap maupun terang, karena klorofil yang dihasilkan dalam keadaan tersebut adalah identik [17].



Gambar 5. Konsentrasi Klorofil a

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil paling tinggi yaitu pada reaktor N₃B₁ dengan penambahan nutrisi sebesar 30 mg/L dan bakteri sebesar 50 mL. Akan tetapi pada penambahan nutrisi 30 mg/L dan nutrisi 15 mg/L tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan, disebabkan perbedaan laju produksi alganya hanya kecil (dapat dilihat pada Gambar 5) sehingga konsentrasi yang mempunyai pengaruh pada produksi alga di dalam ruangan adalah pada konsentrasi 7,5 mg/L.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan konsentrasi nutrisi dan konsentrasi bakteri yang optimum di dalam ruangan adalah sebesar 7,5 mg/L untuk nutrisi, 150 mL untuk bakteri. Penambahan ini ideal, karena memiliki konsentrasi klorofil a yang lebih tinggi dan nilai yang tidak fakultatif dibandingkan dengan reaktor lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rachmaniah, O, Elfera Y.R., Danang, H.W.. 2010. *Algae Spirulina Sp. Oil Extraction Method Using The Osmotic And Percolation And The Effect On Extractable Components*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Jurnal Teknik Kimia Vol.4, No.2. Surabaya.
- [2] Suroso. 2005. *Kilang Pengolahan Bahan Bakar Minyak*. Surabaya: Trubus Agrisarana.
- [3] Zuhdi, M.F.A. 2002. *Aplikasi Penggunaan Waste Methyl Ester Pada High Speed Marine Diesel Engine*. Seminar Nasional Teori aplikasi Teknologi Kelautan, FTK. ITS.
- [4] National Renewable Energy Laboratory (NREL). 1998. *A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program—Biodiesel from Algae*. Colorado:NREL; (NREL Report).
- [5] Schultz, T. 2006. *The Economics Of Micro-Algae Production and Processing Into Biodiesel*. Research Report. Department of Agriculture and Food of Western Australia.
- [6] Oron, Gideon, G. Shelef, A. Levi, A. Meydan, Y. Azof. (1979). *Algae/Bacteria Ratio in High-Rate Ponds Used for Waste Treatment. Applied and Environmental Microbiology*, Pages 570-576.
- [7] Redfield, A.C., Ketchum, B.H., Richards, F.A. 1963. *The Influence Of Organisms On The Composition Of Sea Water*. In M.N.Hill (Ed), *Sea Water*, Volume 2. Wiley-Interscience N.Y. pp 26-77.
- [8] Mara, Duncan. (2003). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. London: Earthscan.

- [9] APHA, AWWA, WAE. (2005). *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 21 Edition*. Washington D.C: American Public Health Association.
- [10] Hatano, A. (2001). *Analysis of Nitrogen Removal Efficiency of Advanced Integrated Wastewater Pond System (AIWPS)*.
- [11] Environment Protection Agency (EPA). 2002. *Nitrification*. U.S Environmental Protection Agency. Office of Ground Water and Drinking Water, Office of Water. Washington DC.
- [12] Bitton, Gabriel. (2005). *Wastewater Microbiology, Third Edition*. Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- [13] Ripple, W. 2003. *Nitrification Basics For Aerated Lagoon Operators*. 4th Annual Lagoon Operators Round Table Discussion Ashland WWTF.
- [14] Termini, I. D., A. Prassaone, C. Cattaneo, M. Rovatti. 2010. On The Nitrogen and Phosphorus Removal in Algal Photobioreactors. *Ecological Engineering*, Page 5.
- [15] Faradiba, A. U.. 2011. *Pengaruh Aerasi dan Pencahayaan Alami Terhadap Kemampuan High Rate Algae Reactor (HRAR) Dalam Penurunan Nitrogen dan Fosfat Pada Limbah Domestik Perkotaan*. Surabaya. FTSP. ITS.
- [16] Purwohadiyanto, Ir., Ir. Prapti Sunarmi, dan Ir. Sri Andayani, MS. 2006. *Pemupukan dan Kesuburan Perairan Budidaya*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [17] Strickland, J.D.H 1960. *Measuring The Production Of Marine Phytoplankton*. Fish. Res. Bull. 122: 1-171.