

Pengaruh Aerasi dan Sumber Nutrien terhadap Kemampuan Alga Filum Chlorophyta dalam Menyerap Karbon (*Carbon Sink*) untuk Mengurangi Emisi CO₂ di Kawasan Perkotaan

Lancur Setoaji dan Joni Hermana

Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: hermana@its.ac.id

Abstrak—Penelitian terkait mitigasi pemanasan global, khususnya dalam penyerapan karbon dioksida (CO₂), menjadi fokus utama di kalangan ilmuwan dunia. Secara alamiah, karbon dioksida dapat diserap oleh tumbuhan hijau, laut, karbonasi batuan kapur, dan alga. Pigmen hijau dalam alga atau klorofil dapat menyerap karbon dioksida dalam proses fotosintesis. Alga memiliki pertumbuhan yang sangat cepat sehingga cocok digunakan sebagai *carbon sink*. Penelitian terkait *carbon sink* ini bertujuan untuk menentukan kemampuan rata-rata serapan CO₂ oleh alga di kawasan perkotaan dan menentukan pengaruh aerasi dan variasi sumber N terhadap pertumbuhan dan perkembangan alga. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan reaktor dengan proses *batch*. Sampel alga yang digunakan didapatkan dari hasil pengembangbiakan yang bersumber dari perairan di kawasan perkotaan. Penelitian ini menggunakan dua variabel uji, yaitu aerasi dan sumber nutrien. Jumlah karbon dioksida yang diserap didapatkan dari perbandingan stoikiometri pada reaksi fotosintesis. Berdasarkan perbandingan stoikiometri tersebut diketahui bahwa 1 gram sel alga yang terbentuk sebanding dengan 1,92 gram CO₂ yang diserap. Dari hasil penelitian, alga dengan penambahan pupuk urea dapat menyerap 4,87 mg CO₂/hari dalam kondisi tanpa aerasi atau 3,84 mg CO₂/hari dengan aerasi. Sedangkan alga dengan penambahan pupuk NPK dapat menyerap 3,61 mg CO₂/hari dalam kondisi tanpa aerasi atau 3,01 mg CO₂/hari dengan aerasi.

Kata Kunci—Alga, *carbon sink*, karbon dioksida, pemanasan global.

I. PENDAHULUAN

PEMANASAN global merupakan peningkatan suhu udara rata-rata secara global pada permukaan bumi yang disebabkan oleh naiknya konsentrasi gas-gas rumah kaca (GRK) yang terdiri dari gas CO₂, CH₄, NO_x, SO_x, dan gas-gas lainnya di atmosfer [1]. Gas-gas ini dipancarkan ke atmosfer sebagian besar sebagai akibat dari aktivitas manusia. Peningkatan suhu bumi secara global, atau yang sering

disebut sebagai *global warming*, menyebabkan adanya perubahan iklim yang cukup ekstrim pada permukaan bumi.

Secara alamiah, karbon dioksida dapat diserap oleh tumbuhan hijau, laut, karbonasi batuan kapur, dan lain sebagainya. Dalam proses karbonasi, karbon dioksida digunakan sebagai faktor pelapuk [2]. Pada permukaan laut, terutama di daerah kutub yang memiliki temperatur yang lebih rendah, karbon dioksida lebih mudah larut sehingga akan terbawa oleh sirkulasi termohalin yang membawa massa air di permukaan yang lebih berat ke lapisan air yang lebih dalam [3]. Selain itu, tumbuhan hijau dan alga juga dapat menyerap karbon dioksida untuk membentuk karbohidrat.

Alga memiliki klorofil yang digunakan untuk melakukan fotosintesis. Menurut [4], setiap alga memiliki kondisi pertumbuhan yang spesifik satu sama lain sehingga kemampuan serapan alga terhadap karbon dioksida pun berbeda-beda. Pertumbuhan alga tidak hanya dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi, tapi juga dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara faktor-faktor fisik seperti pH, intensitas cahaya, temperatur, adanya aerasi, dan faktor-faktor biotik. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menentukan pengaruh aerasi dan jenis nutrisi N terhadap kemampuan rata-rata penyerapan karbon dioksida oleh alga filum Chlorophyta di kawasan perkotaan. Dari data yang didapatkan, diharapkan dapat diperkirakan jumlah pertumbuhan alga yang akan digunakan dalam membudidayakan alga di kawasan perkotaan sebagai bagian dari upaya mitigasi pemanasan global atau *global warming*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Ide Awal Perencanaan

Alga sebagai tumbuhan mikroskopis turut berperan dalam menurunkan emisi gas CO₂ di atmosfer. Kemampuan alga untuk berfotosintesis, seperti tumbuhan darat lainnya, dapat dimanfaatkan untuk menyerap CO₂. Alga menjadi salah satu alternatif dalam menerapkan teknologi *carbon capture and storage* karena jumlah biomassa alga hanya 0,05% biomassa

tumbuhan darat namun jumlah karbon yang diserap sama dengan jumlah C yang difiksasi oleh tumbuhan darat [5]. Berdasarkan alasan tersebut, didapatkan ide penelitian tentang penyerapan karbon dioksida oleh alga.

B. Studi Literatur

Hal-hal yang menjadi fokus studi literatur ini adalah kemampuan rata-rata penyerapan karbon dioksida oleh alga, khususnya alga yang termasuk ke dalam filum Chlorophyta. Literatur-literatur yang didapatkan berasal dari buku teks, penelitian terdahulu, jurnal-jurnal ilmiah baik internasional maupun nasional, internet, dan lain sebagainya.

C. Reaktor

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor yang terbuat dari kaca akrilik berbentuk tabung dengan diameter 14 cm. Gambar reaktor secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 1.

D. Variabel

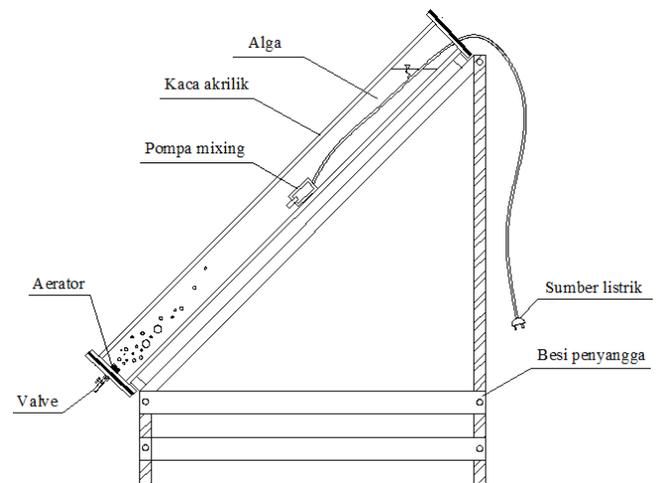
Jumlah reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah 4 reaktor dari hasil kombinasi variabel dan 2 reaktor kontrol. Total reaktor yang digunakan berjumlah 6 reaktor dengan rincian sebagai berikut.

- Reaktor 1 : Reaktor kontrol dengan media air saluran drainase tanpa adanya aerasi dan penambahan nutrisi;
- Reaktor 2 : Reaktor kontrol dengan media air saluran drainase dengan aerasi dan tanpa penambahan nutrisi;
- Reaktor 3 : Reaktor dengan sumber N-ammonia dari pupuk urea tanpa adanya aerasi;
- Reaktor 4 : Reaktor dengan sumber N-nitrat dari pupuk NPK tanpa adanya aerasi;
- Reaktor 5 : Reaktor dengan sumber N-ammonia dari pupuk urea dengan aerasi; dan
- Reaktor 6 : Reaktor dengan sumber N-nitrat dari pupuk NPK dengan aerasi.

Pada variasi sumber N sebagai nutrisi, digunakan sumber N dari pupuk NPK dan sumber N dari pupuk urea. Untuk reaktor-reaktor di atas digunakan rasio konsentrasi C : N : P = 100 : 16 : 1, kecuali untuk reaktor kontrol yang tidak diberikan nutrisi. Sedangkan pada variasi aerasi, digunakan aerator dengan jenis yang sama untuk ketiga reaktor, termasuk reaktor kontrol. Aerasi dilakukan secara kontinu 24 jam. Selain itu, pada setiap reaktor diberikan pompa *mixer* untuk menjaga homogenitas dalam reaktor.

E. Analisis Parameter

Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah konsentrasi klorofil a (*Spectrophotometric Determination of Chlorophyll 10200*), alkalinitas (Metode Titrasi 2320 dan 4500-CO₂), MLVSS (Metode Gravimetri 2540 D), konsentrasi nitrat (*Brucin Acetate Method*), konsentrasi ammonia (*Nesslerization Method*), pH (*Electric Method 4500 H⁺*), *Dissolved Oxygen* dan temperatur (*Oxygen Meter Lutron DO-5510*).



Gambar 1. Detail reaktor penelitian.

Sedangkan dalam menentukan kemampuan rata-rata penyerapan karbon dioksida oleh alga, digunakan perbandingan stoikiometri pada reaksi fotosintesis yang terjadi. Karbon yang terdapat pada karbon dioksida berbanding lurus dengan karbon yang terdapat pada gula [6]. Oleh karena itu, massa karbon dioksida diperoleh dari konversi massa karbohidrat. Dengan menggunakan perbandingan stoikiometri dapat diketahui bahwa 1 gram senyawa organik (sel alga yang terbentuk) sebanding dengan 2,95 gram CO₂ yang diserap.

F. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 24 hari dengan waktu kontak masing-masing selama 10 hari. *Seeding* dilakukan selama kurang lebih satu minggu dengan menjaga rasio C:N:P ideal. Untuk menjaga agar rasio C:N:P ideal maka dilakukan penambahan gula dan nutrisi N sesuai dengan rasio yang diinginkan. Rasio C:N:P yang diinginkan disesuaikan dengan rasio ideal pertumbuhan alga, yaitu 100:16:1.

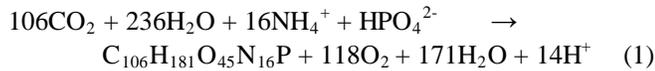
Alga yang ditumbuhkan ini selanjutnya digunakan untuk kultur alga yang ditambahkan ke dalam reaktor berisi air saluran drainase. Air saluran drainase yang digunakan sebagai media tumbuh alga adalah air saluran drainase yang didapatkan dari Jalan Arif Rahman Hakim, Surabaya. Air saluran drainase yang dimasukkan ke dalam reaktor adalah sebesar 15 L untuk setiap reaktor. Sedangkan kultur alga yang dimasukkan ke dalam reaktor adalah 10 L untuk setiap reaktor. Maka, perbandingan komposisi antara kultur alga dengan air saluran drainase adalah sebesar 2 : 3.

III. DATA DAN PEMBAHASAN

A. Pertumbuhan Alga dan Kemampuan Serapan CO₂

Analisis klorofil a dilakukan setiap dua hari sekali, yaitu pada hari ke-0, hari ke-1, hari ke-3, hari ke-5, hari ke-8, dan hari ke-10. Analisis klorofil a dilakukan langsung setelah pengambilan sampel. Selama proses fotosintesis alga memanfaatkan CO₂, nutrisi, dan cahaya matahari

berdasarkan reaksi pada persamaan berikut [7].



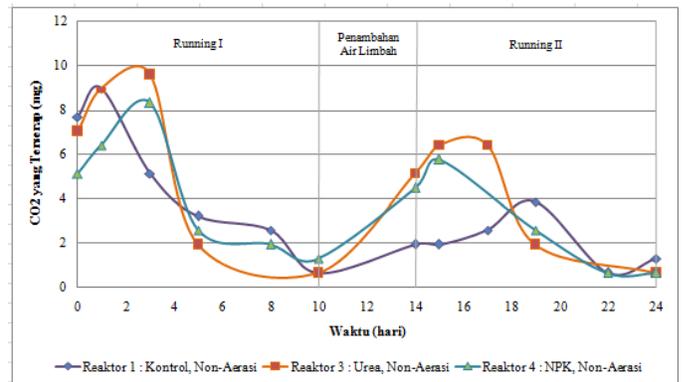
Berdasarkan persamaan reaksi di atas, dapat disimpulkan bahwa 1 gram sel alga baru dengan berat molekul 113,5 gram terbentuk dengan adanya karbon dioksida sebanyak 1,92 gram. Hal ini menyebabkan grafik pertumbuhan alga dan grafik penyerapan karbon dioksida berbanding lurus dan memiliki *trendline* yang sama. Gambar 2 menunjukkan grafik penyerapan karbon dioksida pada variabel non-aerasi. Sedangkan Gambar 3 menunjukkan grafik penyerapan karbon dioksida pada variabel aerasi.

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3, dapat dilihat bahwa penyerapan karbon dioksida tertinggi terjadi pada reaktor yang tidak diberikan variabel aerasi. Pada Reaktor 3 (urea, non-aerasi), penyerapan karbon dioksida tertinggi mencapai 9,61 mg. Pada Reaktor 4 (NPK, non-aerasi) dan Reaktor 1 (kontrol, non-aerasi), berturut-turut nilai serapan karbon dioksida yang tertinggi adalah sebesar 8,33 mg dan 8,97 mg.

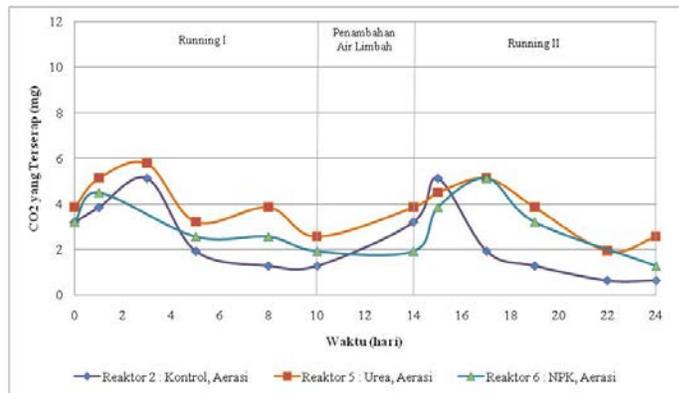
Sedangkan pada reaktor dengan variabel aerasi, penyerapan karbon dioksida lebih rendah daripada reaktor tanpa variabel aerasi. Untuk variabel aerasi, penyerapan karbon dioksida tertinggi terjadi pada Reaktor 5 (urea, aerasi), yaitu hingga mencapai 5,77 mg. Sedangkan pada Reaktor 6 (NPK, aerasi) dan Reaktor 2 (kontrol, aerasi), penyerapan karbon dioksida tertinggi berada pada nilai 5,13 mg.

Hal ini sebanding dengan jumlah alga pada Reaktor 5 (urea, aerasi) yang jauh lebih tinggi daripada jumlah alga pada kedua reaktor aerasi lainnya. Peningkatan tertinggi terjadi pada hari ke-3 dan hari ke-17, yaitu hingga mencapai 0,12 mg/L dan 0,107 mg/L. Pada Reaktor 6 (NPK, aerasi), peningkatan tertinggi terjadi pada hari ke-17, yaitu hingga mencapai 0,107 mg/L. Pertumbuhan alga pada Reaktor 5 dan Reaktor 6 tidak jauh berbeda. Hanya saja, pada *running* pertama, jumlah alga pada Reaktor 6 hanya meningkat pada hari ke-1, selanjutnya cenderung turun hingga akhir waktu kontak.

Sedangkan pada Reaktor 2 (kontrol, aerasi), peningkatan tertinggi terjadi pada hari ke-3 dan hari ke-15, yaitu hingga mencapai 0,107 mg/L. Berdasarkan data-data tersebut, dapat dilihat bahwa reaktor dengan pemberian nutrisi pupuk urea jauh lebih baik daripada reaktor dengan pemberian nutrisi pupuk NPK. Hal ini disebabkan karena pada pupuk urea dengan rumus kimia CON_2H_4 terdapat unsur karbon yang juga dibutuhkan oleh alga. Sedangkan pupuk NPK mengandung unsur hara nitrogen 15% dalam bentuk NH_3 , fosfor 15% dalam bentuk P_2O_5 , dan kalium 15% dalam bentuk K_2O [8].



Gambar. 2. Grafik penyerapan CO₂ oleh alga Filum Chlorophyta dengan variabel non-aerasi.

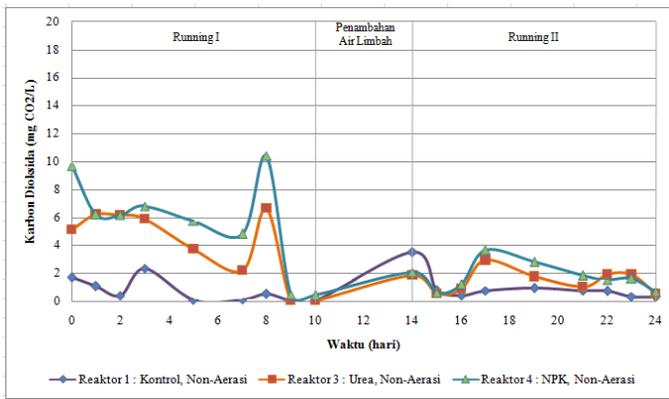


Gambar. 3. Grafik penyerapan CO₂ oleh alga Filum Chlorophyta dengan variabel aerasi.

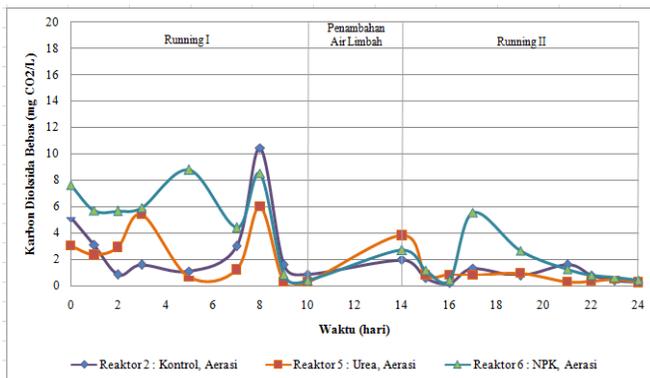
B. Alkalinitas dan Karbon Dioksida Bebas

Alkalinitas berperan dalam menentukan kemampuan air untuk mendukung pertumbuhan alga serta kehidupan organisme air lainnya. Selain itu, alkalinitas juga berperan sebagai buffer pH. Hubungan antara pH, alkalinitas, dan faktor yang terkait dengan pH dan suhu air yang terukur selanjutnya dikalikan dengan nilai alkalinitas yang terukur sebagai mg/L CaCO₃. Dalam kesetimbangannya di air, karbon dioksida yang bisa berikatan dengan air membentuk sebuah asam karbonat yang mempengaruhi nilai alkalinitas pada air. Karbon dioksida serta tiga bentuk alkalinitas lainnya merupakan bagian dari suatu sistem kesetimbangan yang saling berkaitan. Pergeseran kesetimbangan akan menyebabkan perubahan konsentrasi ion [9]. Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan perubahan konsentrasi karbon dioksida bebas pada reaktor.

Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5 dapat diketahui bahwa karbon dioksida bebas pada *Running I* mengalami perubahan yang cukup fluktuatif. Pada hari ke-8, konsentrasi karbon dioksida bebas meningkat menjadi 6,66 mg CO₂/L untuk Reaktor 3 (urea, non-aerasi) dan 10,38 mg CO₂/L untuk Reaktor 4 (NPK, non-aerasi). Sedangkan pada Reaktor 1 (kontrol, non-aerasi), konsentrasi karbon dioksida bebas mengalami penurunan hingga akhir masa analisis.



Gambar. 4. Grafik perubahan konsentrasi CO₂ bebas pada reaktor tanpa aerasi.



Gambar. 5. Grafik perubahan konsentrasi CO₂ bebas pada reaktor dengan aerasi.

Hal serupa juga terjadi pada reaktor dengan variasi aerasi. Pada hari ke-8, semua reaktor mengalami peningkatan hingga mencapai 10,44 mg CO₂/L untuk Reaktor 2 (kontrol, aerasi); 5,99 mg CO₂/L untuk Reaktor 5 (urea, aerasi); dan 8,54 mg CO₂/L untuk Reaktor 6 (NPK, aerasi). Selain karena adanya reaksi kesetimbangan alkalinitas, fluktuasi ini juga dapat diakibatkan oleh terjadinya fluktuasi pertumbuhan bakteri pada reaktor. Selama proses respirasi, bakteri menyerap oksigen dan menghasilkan karbon dioksida. Akibat jumlah bakteri yang fluktuatif mengakibatkan konsentrasi karbon dioksida bebas pada reaktor pun berubah cukup fluktuatif. Berbeda dengan *Running 1*, konsentrasi karbon dioksida bebas pada *Running 2* mengalami penurunan mulai hari ke-19 hingga hari ke-24. Hal ini disebabkan oleh penggunaan karbon dioksida bebas oleh alga untuk melakukan proses fotosintesis. Alga tidak hanya memanfaatkan karbon dioksida dari udara ambien saja, tetapi juga memanfaatkan karbon dioksida bebas yang terdapat pada air. Hal inilah yang menyebabkan penurunan konsentrasi karbon dioksida bebas pada reaktor.

C. Pengaruh Variasi Jenis Nutrien

Pada reaktor dengan pemberian nutrisi berupa ammonia yang berasal dari pupuk urea, kemampuan rata-rata penyerapan karbon dioksida lebih besar daripada penyerapan karbon dioksida pada reaktor dengan pemberian nutrisi yang berasal dari pupuk NPK. Pada Reaktor 3 (urea, non-aerasi), jumlah rata-rata karbon dioksida yang diserap adalah 4,87

mg/hari. Sedangkan pada Reaktor 4 (NPK, non-aerasi), jumlah karbon dioksida yang diserap adalah 3,61 mg/hari. Perbedaan kemampuan penyerapan karbon dioksida ini juga terjadi pada reaktor dengan aerasi. Pada Reaktor 5 (urea, aerasi) dan Reaktor 6 (NPK, aerasi), kemampuan rata-rata penyerapan karbon dioksida berturut-turut adalah 3,84 mg/hari dan 3,01 mg/hari. Kemampuan penyerapan karbon dioksida pada Reaktor 5 (urea, aerasi) lebih besar daripada penyerapan karbon dioksida pada Reaktor 6 (NPK, aerasi).

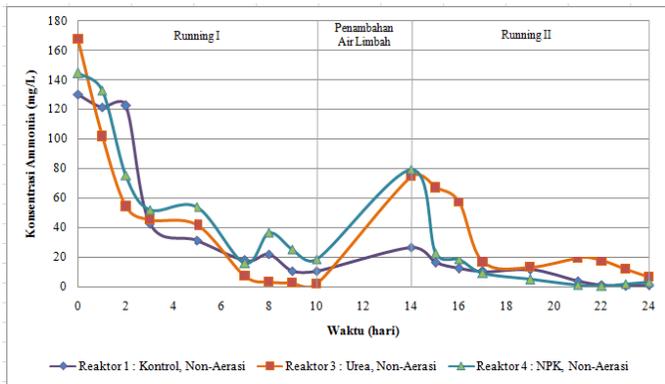
Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah alga pada Reaktor 3 (urea, non-aerasi) lebih besar daripada peningkatan jumlah alga pada Reaktor 4 (NPK, non-aerasi). Peningkatan jumlah alga yang berbeda ini disebabkan oleh jenis nutrien yang diberikan. Untuk mengetahui seberapa besar nutrien yang diserap oleh alga, Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan perubahan konsentrasi ammonia pada masing-masing reaktor.

Penurunan konsentrasi ammonia yang cukup signifikan di awal diakibatkan meningkatnya jumlah alga pada hari ke-1 hingga hari ke-3 setelah *seeding*. Alga menggunakan ammonia sebagai sumber utama N untuk membangun sel protein melalui reaksi fotosintesis. Pada hari ke-5 hingga hari ke-10 setelah *seeding*, konsentrasi ammonia tetap menurun. Hal ini diakibatkan penggunaan ammonia oleh alga tetap terjadi meskipun jumlah alga ikut menurun. Selain diakibatkan oleh penggunaan sumber N oleh alga, penurunan ammonia juga terjadi akibat adanya proses nitrifikasi menjadi nitrat [10]. Nitrifikasi merupakan proses oksidasi ammonia menjadi nitrat yang berlangsung dengan bantuan bakteri *Nitrosomonas* [11]. Sedangkan perubahan konsentrasi nitrat pada masing-masing reaktor ditunjukkan oleh Gambar 8 dan Gambar 9.

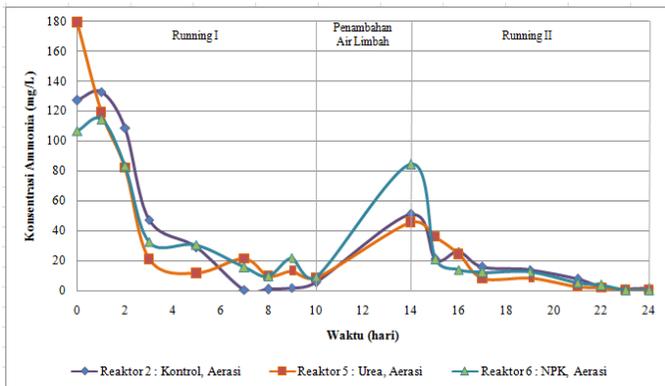
Konsentrasi nitrat di awal waktu kontak mengalami penurunan, namun pada akhir waktu kontak kembali mengalami peningkatan konsentrasi. Jika dilihat berdasarkan grafik, konsentrasi nitrat pada sampel cukup fluktuatif. Tren konsentrasi nitrat mengalami peningkatan mulai hari ke-3 hingga akhir waktu kontak. Terjadinya akumulasi nitrat ini dapat diakibatkan oleh terhambatnya proses denitrifikasi pada sampel, sedangkan nitrifikasi berlangsung dengan baik [12]. Nitrifikasi adalah proses oksidasi ammonia menjadi nitrit, lalu dioksidasi lagi menjadi nitrat. Laju nitrifikasi yang terjadi pada sampel lebih tinggi dibandingkan laju denitrifikasi.

D. Pengaruh Variasi Aerasi

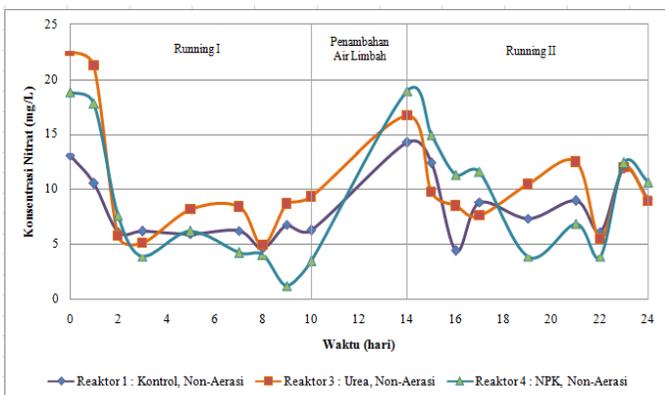
Pada variasi aerasi dilakukan penambahan oksigen ke dalam reaktor. Oksigen ini ditambahkan untuk memberikan suplai oksigen yang cukup untuk respirasi bakteri. Selain itu, penambahan oksigen ini juga dilakukan agar pada malam hari, tidak terjadi kompetisi *uptake* oksigen oleh alga maupun bakteri.



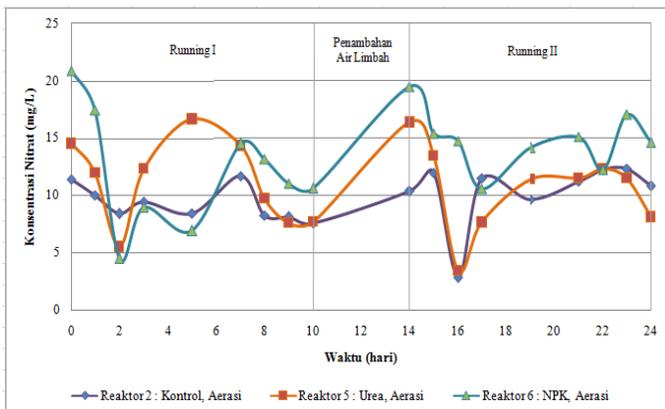
Gambar. 6. Grafik konsentrasi ammonia pada variabel non-aerasi.



Gambar. 7. Grafik konsentrasi ammonia pada variabel aerasi.



Gambar. 8. Grafik konsentrasi nitrat pada variabel non-aerasi.



Gambar. 9. Grafik konsentrasi nitrat pada variabel aerasi.

Menurut pengamatan selama 24 hari pada tiga reaktor dengan aerasi dan tiga reaktor tanpa aerasi termasuk reaktor kontrol, tamati bahwa penyerapan karbon dioksida pada reaktor tanpa aerasi lebih besar dari penyerapan karbon dioksida pada reaktor dengan aerasi. Pada Reaktor 3 (urea, non-aerasi), jumlah rata-rata karbon dioksida yang diserap adalah 4,87 mg/hari. Sedangkan pada Reaktor 4 (NPK, non-aerasi), Reaktor 5 (urea, aerasi) dan Reaktor 6 (NPK, aerasi), kemampuan rata-rata penyerapan karbon dioksida berturut-turut adalah 3,61 mg/hari, 3,84 mg/hari dan 3,01 mg/hari.

IV. KESIMPULAN

Kemampuan rata-rata penyerapan karbon dioksida tertinggi oleh alga Filum Chlorophyta terjadi pada kondisi tanpa aerasi dengan pemberian pupuk urea, yaitu sebesar 4,87 mg/hari. Pada variasi aerasi, pemberian aerasi dengan bentuk reaktor berupa tabung justru menghasilkan pertumbuhan alga yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan reaktor yang tidak diberikan aerasi. Sedangkan pada variasi jenis nutrisi, pemberian nutrisi yang berasal dari pupuk urea memberikan hasil penyerapan karbon dioksida yang lebih besar daripada reaktor dengan pemberian nutrisi dari pupuk NPK.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis L.S. ber terima kasih kepada PT Angkasa Pura II yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Program BUMN Peduli Pendidikan 2013 dan kepada PT Pembangkitan Jawa Bali sebagai salah satu penyedia dana penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Akorede, H. Hizam, M. Z. A. Ab Kadir, I. Aris. dan S. D. Buba, "Mitigating The Anthropogenic Global Warming in The Electrical Power Industry," in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16 (2012) 2747-2761.
- [2] A. Yani and M. Ruhimat, *Geografi Menyingkap Fenomena Geosfer*. Bandung: Grafindo Media Pratama (2007).
- [3] H. H. Janzen, "Carbon Cycling in Earth Systems—A Soil Science Perspective," in *Agriculture, Ecosystems, and Environment*, Vol. 104 (2004) 399-417.
- [4] A. Mulyanto, "Mikro Alga (*Chlorella*, sp.) sebagai Agenia Penambat Gas Karbon Dioksida," in *Hidrosfir Indonesia*, Vol. 5, No. 2 (2010) 13-23.
- [5] J. K. B. Bishop and R. E. Davis, *Autonomous Observing Strategis for The Ocean Carbon Cycle*. Lawrence Berkeley National Laboratory (2000) Paper LBNL.
- [6] S. S. Harjadi, *Pengantar Agronomi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama (1979).
- [7] D. Mara, *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Trowbridge: Cromwell Press (2003).
- [8] H. S. Hardjowigeno, *Ilmu Tanah*. Jakarta: PT Melton Putra (1992).
- [9] C. N. Sawyer, P. L. McCarty, and G. F. Parkin, *Chemistry for Environmental Engineering and Science Fifth Edition*. Singapore: McGraw-Hill (2003).
- [10] M. A. Babu, M. A. Hes, N. P. van der Steen, C. M. Hooijmans, and H. J. Gijzen, "Nitrification Rates of Algal-Bacterial Biofilms in Wastewater Stabilization Ponds under Light and Dark Conditions," in *Ecological Engineering*, Vol. 36 No. 12 (2010) 1741-1746.
- [11] J. A. Hargreaves, "Nitrogen Biogeochemistry of Aquaculture Ponds," in *Aquaculture*, Vol. 166 No. 3-4 (1998) 181-212.
- [12] D. Kaplan, R. Wilhelm, and A. Abeliovich, "Interdependent Environmental Factors Controlling Nitrification in Waters," in *Water Science and Technology*, Vol. 42 No. 1-2 (2000) 167-172.