

STUDI EKSPERIMENTAL FOTOBIOREAKTOR *PHOTOVOLTAIC* UNTUK PRODUKSI MIKROALGA (*Nannochloropsis oculata*)

*Experimental Study Of Photovoltaic Photobioreactor For Microalgae Production
(Nannochloropsis oculata)*

Nilam Fitri Widyaningrum*, Bambang Susilo, M. Bagus Hermanto

Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran – Malang 65145

*Penulis Korespondensi, Email: nilam_fitri17@yahoo.com

ABSTRAK

Teknologi fotobioreaktor yang diterapkan pada mikroalga dinilai efektif mereduksi emisi CO₂ karena kemampuan mikroalga dalam mengabsorpsi CO₂ dalam proses fotosintesisnya. Di sisi lain, pemanfaatan energi fotovoltaiik dapat digunakan sebagai penyuplai listrik untuk fotobioreaktor mikroalga. Tujuan dari penelitian ini adalah menguji performansi fotobioreaktor sistem *photovoltaic* dan menguji produktivitas mikroalga (*Nannochloropsis oculata*) melalui perlakuan debit aliran. Eksperimen ini menggunakan perbandingan dengan perlakuan debit aliran dengan kepadatan awal 1 x 10⁶ cell/ml, penambahan kepadatan awal dengan kepadatan 3 x 10⁶ cell/ml serta kontrol perlakuan dengan kepadatan awal 1 x 10⁶ cell/ml. Debit aliran yang digunakan adalah Q₁ = 0.8 liter/menit, Q₂ = 2.6 liter/menit, dan Q₃ = 5.8 liter/menit sedangkan untuk kontrol perlakuan debit aliran = 0 liter/menit. Penambahan Perlakuan dilakukan untuk mengetahui pengaruh kepadatan awal terhadap kultivasi alga selama eksperimen. Tegangan baterai mengalami penurunan selama hari ke-1 hingga hari ke-8 secara umum, namun berdasarkan data hasil pengukuran sistem performa sistem PV cukup baik dan dapat menyuplai seluruh energi yang dibutuhkan oleh pompa fotobioreaktor selama eksperimen. Pengujian mikroalga melalui perlakuan debit aliran dan tambahan perlakuan penambahan kepadatan alga saat kultivasi awal menunjukkan bahwa perlakuan debit aliran 0.8 L/menit memiliki kepadatan alga dan laju pertumbuhan yang tertinggi.

Kata Kunci: Fotobioreaktor, *photovoltaic*, mikroalga, *nannochloropsis oculata*

ABSTRACT

Photobioreactor technology applied to microalgae was assessed effectively reduce CO₂ emissions because the ability of microalgae to absorb CO₂ during photosynthetic. Moreover, photovoltaic technology can be used as electricity provider for microalgae photobioreactor. The purposes of this experiment are to study the performance and productivity of photovoltaic systems (Nannochloropsis oculata) by flow treatment. The flow rate treatments were Q₁ = 0.8 liters / min, Q₂ = 2.6 liters / min, and Q₃ = 5.8 liters / min, while for the control treatment flow rate = 0 liters / min. This experiment was also comparing between the initial density of 1 x 10⁶ cell/ml and initial density on cultivation algae during experiment done. Although the battery voltage drop during the first day until the eight day, based on the data of PV system performance measurement system was quite good and be able to supply all the energy needed by the pump photobioreactor during experiment. Testing microalgae through treatment flow rate and density of alga addition of additional treatment when initial cultivation showed that treatment flow rate 0.8 L / min has a density of algae and the highest growth rate.

Keyword : Photobioreactor, *photovoltaic*, microalgae, *Nannochloropsis oculata*

PENDAHULUAN

Mikroalga adalah kelompok tumbuhan berukuran renik yang termasuk dalam kelas alga, diameternya antara 3-30 µm, baik sel tunggal maupun koloni yang hidup di seluruh wilayah perairan tawar maupun laut, yang lazim disebut fitoplankton. Morfologi mikroalga berbentuk uniseluler atau multiseluler tetapi belum ada pembagian tugas yang jelas pada sel-sel komponennya. Hal itulah yang membedakan mikroalga dari tumbuhan tingkat tinggi (Romimohtarto, 2004).

Mikroalga merupakan salah satu organisme yang dapat dinilai ideal dan potensial untuk dijadikan sebagai bahan baku produksi biofuel (Li *et al.*, 2008). Kandungan lipid dalam biomassa mikroalga kering spesies tertentu dapat mencapai di atas 50% dengan pertumbuhan yang sangat cepat (Hossain *et al.*, 2008).

Nannochloropsis oculata adalah salah satu alga yang paling efisien dalam menangkap dan memanfaatkan energi cahaya dan CO₂ untuk keperluan fotosintesis (Diharmi, 2001). Mikroalga ini tidak hanya memiliki kapasitas untuk memproduksi produk alga yang bernilai tinggi tetapi juga memiliki kemampuan untuk berkembang biak hanya dengan menggunakan cahaya matahari, karbon dioksida dan air laut. Selain itu, *Nannochloropsis* sp. dapat tumbuh dengan kerapatan sel yang tinggi (50 dan 27.5 g/L) dalam kondisi tumbuh *autotrophic* dan menghasilkan konten tinggi lipid (52% dan 46%) (Moazami, 2011).

Di Indonesia upaya penelitian lebih berkembang ke arah teknologi secara biologi dengan menggunakan fotobioreaktor. Fotobioreaktor merupakan reaktor yang dirakit dari bahan tembus pandang (gelas, akrilik, plastik) yang dilengkapi dengan instalasi suplay media dan emisi gas untuk mengkultur mikroalga dalam rangka penyerapan gas CO₂. Teknologi fotobioreaktor yang diterapkan pada mikroalga dinilai efektif mereduksi emisi CO₂ karena kemampuan mikroalga dalam mengabsorpsi CO₂ dalam proses fotosintesis yang terjadi di saat siang hari.

Energi surya yang diterima dalam satu hari (*solar insolation* dan *solar irradiation*) dapat bervariasi mulai dari 0.55 kWh/m² (2MJ/m²) pada daerah dingin sampai 5.55 kWh/m² (20MJ/m²) pada daerah tropis. Menurut Solarex (1996), melalui peta potensial radiasi global untuk daerah Jawa Timur memiliki nilai radiasi matahari 4 PSH.

Pemanfaatan energi surya untuk suplai tenaga listrik fotobioreaktor merupakan salah satu solusi untuk mencapai sistem produksi mikroalga yang menggunakan energi terbarukan. Pada pengoperasian fotobioreaktor diperlukan sumber tenaga untuk menyuplai energi dengan sistem kontrol, monitoring dan peralatan pendukung lain yang diperlukan. Input dan output energi yang digunakan dalam penggunaan fotobioreaktor ini dapat diketahui selama masa eksperimen sehingga didapatkan data energi yang digunakan dan yang dihasilkan. Model yang dikembangkan dalam penelitian ini divalidasi dengan eksperimen. Model ini kemudian dapat digunakan untuk keperluan simulasi dan sizing komponen pembangkit listrik tenaga surya untuk fotobioreaktor. Penelitian terdahulu yang menggunakan fotobioreaktor adalah Hermanto dkk (2011). Penelitian ini menghasilkan kepadatan alga untuk jenis *Nannochloropsis oculata* yang tinggi yaitu sebesar 3293×10^4 sel/mL. Manullang dkk (2012) bahwa fotoperiod 24 jam terang akan menghasilkan kandungan lipid.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Algae *Nannochloropsis oculata*, Nutrisi algae yaitu jenis nutrisi algae yang dibutuhkan adalah pupuk *Walne* dan vitamin, Air Payau (campuran air payau dan air tawar) dengan salinitas 35 ppt. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah drum plastik berdiameter 40 cm dan tinggi 60 cm, plastik PE 0,10 mm dengan panjang 150 m dan lebar 80 cm, Pipa pralon $\frac{3}{4}$ cm dengan panjang 20 cm dan 80 cm, Besi pancang dengan tebal 2 cm dan lebar 4 cm, dua buah selang plastik bening berdiameter $\frac{3}{4}$ cm dengan panjang 180 cm dan 60 cm, aerator, pompa celup, lem pipa dan lem tembak, kran air, PV panel, baterai, controller, inverter, data logger, sensor temperatur, *pyranometer*, *thermocouple*, *hall-effect current sensor*, *power resistor*, *haemocytometer*, mikroskop, do meter, luksmeter.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental menggunakan fotobioreaktor terhadap sistem PV. Fotobioreaktor adalah alat pembudidayaan mikroalga dengan sistem resirkulasi tertutup sehingga dapat mengurangi laju penguapan air. Prinsip kerja alat ini berdasarkan kebutuhan oksigen alga *Nannochloropsis oculata*. Fotobioreaktor yang menggunakan sel aerobik, oleh karena pada media kadar oksigen masih rendah maka perlu adanya pasokan oksigen yang terus menerus agar kadar oksigen dan karbondioksida dapat seimbang secara optimal. Selain itu, fotobioreaktor ini berfungsi sebagai alat yang digunakan mikroalga untuk mendapatkan sinar matahari sehingga proses fotosintesis optimal.

Sistem PV yang handal dalam menyuplai energi akan dibutuhkan fotobioreaktor maka desain komponen sistem PV yang tepat sangat diperlukan. Metode sizing dengan menggunakan *Peak Sun Hour* (PSH) dapat digunakan untuk perhitungan cepat. Kemudian hasil perhitungan dengan metode ini dapat diuji dengan model simulasi sistem PV yang dapat dibuat dengan software seperti TRNSYS. Diagram alir penelitian terdapat pada Gambar 1, dan rangkaian penelitian untuk fotobioreaktor terdapat pada Gambar 2.

Pelaksanaan Penelitian di Fotobioreaktor

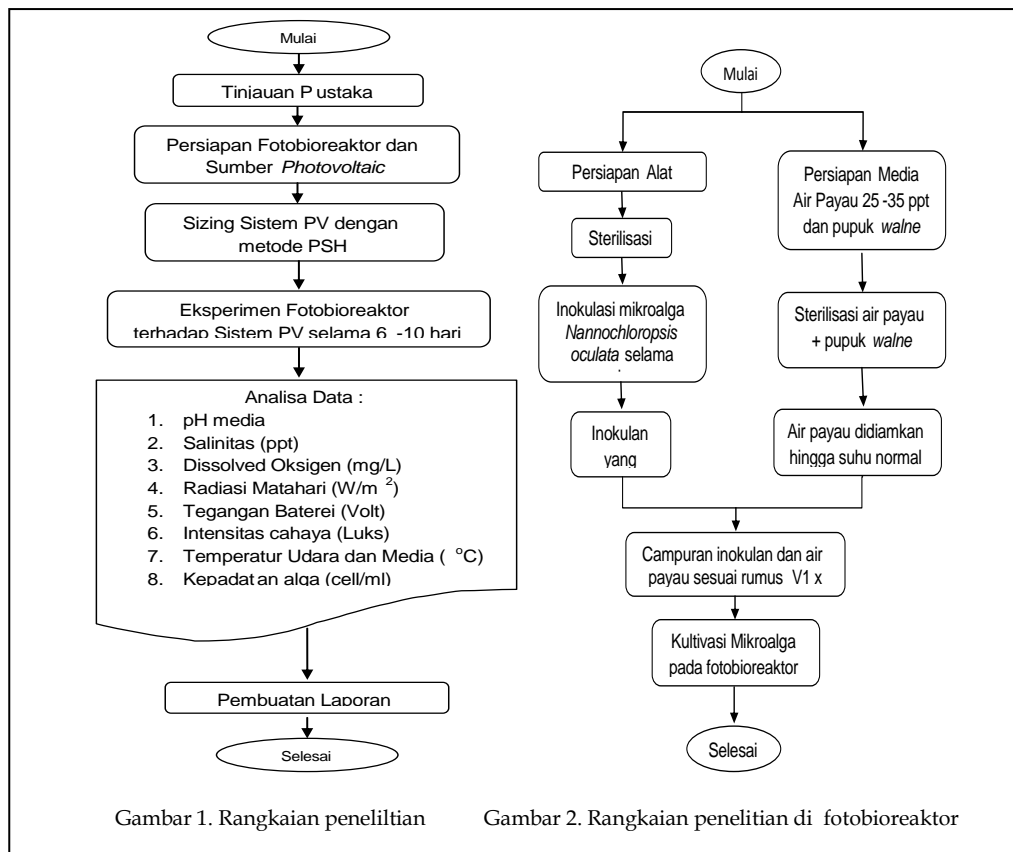
1. Persiapan Bibit *Nannochloropsis oculata* (Inokulasi)

Bibit dibeli dari kultur murni budidaya pakan alami *Nannochloropsis oculata* di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya. Setiap liter media pada pemeliharaan *Nannochloropsis oculata* skala semi

masal menggunakan bioreaktor sederhana ini dipupuk dengan 1 ml formulasi pupuk walne yang dibeli dari BBAP Situbondo.

Sebelum dilakukan kultivasi semi massal inokulan dikultur agar dapat beradaptasi dengan lingkungan kultivasi penelitian. Inokulan yang akan dikultivasi dikultur di laboratorium Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya. Proses kultivasi inokulan dilakukan selama satu minggu dengan volume sebesar 500 ml dengan menggunakan erlenmeyer.

Untuk mendapatkan inokulan yang kuat diperlukan cahaya yang cukup, suhu, pH, dan aerasi. Cahaya yang digunakan berasal dari lampu neon 40 watt. Inokulan ini akan mendapatkan perlakuan media yang sama dengan kultivasi semi massal yang akan dilakukan.



Gambar 1. Rangkaian penelitian

Gambar 2. Rangkaian penelitian di fotobioreaktor

2. Persiapan Media Air payau

Pelaksanaan penelitian ini memiliki syarat media kultur sebagai berikut :

- a. Media kultur yang dipakai adalah air payau, media ini dibeli di toko akuarium dengan kisaran salinitas 25-35 ppt.
- b. Aquades dibeli dari toko kimia diperlukan untuk pengenceran air payau sehingga mendapatkan salinitas yang diinginkan.
3. Kultivasi Mikroalga *Nannochloropsis oculata*
Mikroalga ini mengalami proses kultivasi yang prosesnya adalah sebagai berikut:
 - a. Air payau 27,5 liter direbus hingga mendidih dan ditunggu hingga dingin, kemudian dituang ke dalam drum yang sudah disterilisasi menggunakan air panas.
 - b. Bibit *Nannochloropsis oculata* sebanyak 2,5 Liter dituangkan ke dalam drum. Kondisi campuran antara air payau dengan mikroalga memiliki kepadatan alga sebesar $\pm 1 \times 10^6$ cell/ml.
 - c. Campuran antara mikroalga dengan air payau yang diberi nutrisi pupuk walne kemudian ditempatkan ke drum kemudian diberi aerator agar proses aerasi tetap berlangsung.

Variabel-variabel pengamatan terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel-variabel pengamatan

Variabel	Perlakuan	Pengukuran
Radiasi matahari	Variasi radiasi cahaya matahari adalah parameter yang diutamakan untuk diamati pengaruhnya terhadap laju pertumbuhan alga dengan kisaran nilai 7,32 Watt/m ² .	Diukur per jam dengan data logger
Temperatur kultur alga (suhu air)	Suhu secara umum untuk pertumbuhan mikroalga adalah 25-35°C. Parameter temperatur/ suhu akan dipertahankan pada range suhu optimum ini.	Diukur per jam dengan data logger
DO (<i>Dissolved Oksigen</i>)	Kelarutan oksigen yang akan diukur ini menggunakan DO meter	Diukur sehari 3 kali
Kepadatan Alga	Kepadatan alga diukur/dihitung dengan <i>haemocytometer</i> .	Diukur sehari 3 kali
pH	pH yang harus dipertahankan dalam media pertumbuhan alga adalah sekitar 7-9	Diukur sehari 3 kali
Salinitas	Salinitas berkisar antara 30-36 ppt dan didapatkan dengan cara mengencerkannya dengan aquades.	Diukur sehari 3 kali
Beban listrik pompa	Dilakukan dengan pengukuran V dan I sistem dan dihitung sesuai dengan waktu operasi dan wattage peralatan	Diukur perjam dengan data logger
Daya input dari sistem PV	Dilakukan dengan pengukuran V dan I sistem	Diukur perjam dengan data logger

Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Kepadatan Alga (*Nannochloropsis oculata*)
Perhitungan kepadatan *Nannochloropsis oculata* dilakukan dibawah mikroskop dengan menggunakan *haemocytometer*. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode volumetrik, sebanyak 25 ml/unit percobaan dengan pengulangan pengujian sebanyak 3 kali.
- Laju Pertumbuhan Spesifik
Untuk mengetahui laju pertumbuhan spesifik yang ada selama penelitian dilakukan perhitungan persamaan laju pertumbuhan spesifik produksi biomassa pada fase logaritmik dan waktu yang diperlukan untuk sekali pembelahan sel.
- Kadar Lipid
Menurut Sudarmadji (1997), menyebutkan bahwa kandungan lemak dapat diamati dengan metode soxhlet dalam berat kering sel..
- Salinitas diukur dengan refraktometer
- Nilai pH diukur dengan pH meter
- Nilai *Dissolved Oksigen* diukur dengan DO meter
- Suhu Air, beban listrik, daya input dari sistem PV dan Radiasi matahari (Watt/m²).
- Intensitas cahaya diukur menggunakan luksmeter, pengukuran diukur dengan meletakkan sensor cahaya ditempat peletakan yang akan diteliti

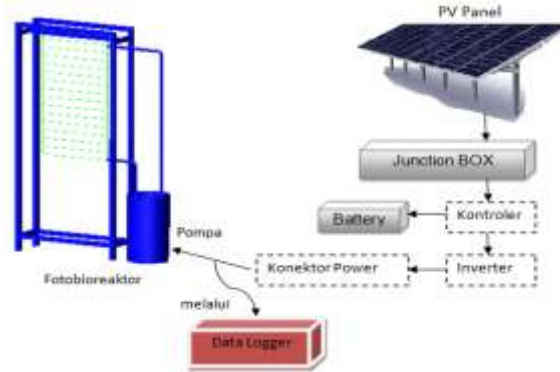
Penggunaan Photovoltaic

Untuk menghasilkan sistem PV yang handal dalam menyuplai energi yang dibutuhkan fotobioreaktor maka desain/sizing komponen sistem PV yang tepat sangat diperlukan. Metode sizing dengan menggunakan Peak Sun Hour (PSH) dapat digunakan untuk perhitungan cepat. Kemudian hasil perhitungan dengan metode ini dapat diuji dengan model simulasi sistem PV yang dapat dibuat dengan software seperti TRNSYS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mekanisme Sistem Secara Komprehensif

Mekanisme alat fotobioreaktor secara komprehensif terlihat pada Gambar 3.

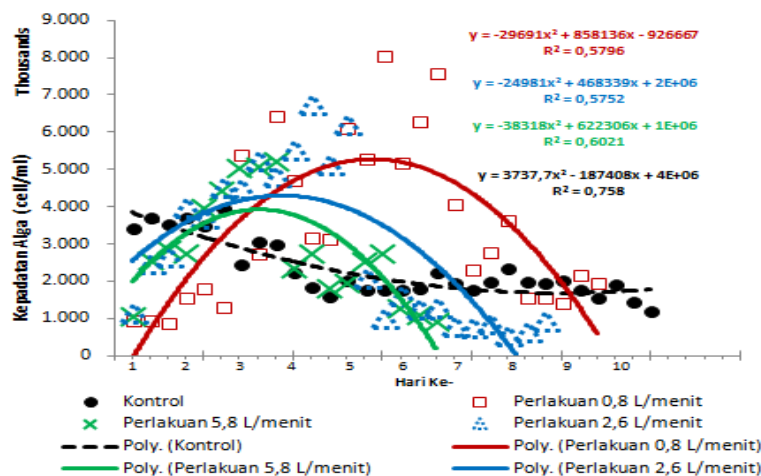


Gambar 3. Mekanisme sistem secara komprehensif

Pemakaian alat fotobioreaktor *photovoltaic* hanya menggunakan energi pompa untuk melakukan proses perkembangbiakan dan pertumbuhan mikroalga tanpa menggunakan lampu TL. Hal ini dilakukan agar energi yang didapatkan dari eksperimen ini lebih besar daripada energi yang digunakan dari pompa celup. Energi yang didapatkan dari penelitian ini berasal dari minyak yang dihasilkan mikroalga *Nannochloropsis oculata*.

Pengaruh Debit Aliran Terhadap Kepadatan dan Laju Pertumbuhan Mikroalga *Nannochloropsis oculata*

Gambar 4 menunjukkan bahwa jumlah kepadatan sel dan laju pertumbuhan terlihat berbeda untuk setiap waktunya pada perlakuan 0,8 L/menit. Kepadatan sel *Nannochloropsis oculata* tertinggi pada perlakuan ini yaitu pada hari ke-5 yang diamati pada sore hari. Peningkatan kepadatan alga tersebut disebabkan oleh bertambahnya jumlah sel secara signifikan. Grafik kepadatan alga untuk debit aliran 2,6 L/menit belum menggambarkan fase-fase yang terjadi dan laju pertumbuhan pada perlakuan ini memang belum jelas. Karena fase yang terjadi pada perlakuan ini terjadi begitu cepat sehingga sulit untuk dijelaskan secara terperinci (Andriyono,2001). Hasil data kepadatan alga pada perlakuan 5,8 L/menit mendapati laju pertumbuhan yang cukup baik. Kepadatan sel *Nannochloropsis oculata* pada awal kultivasi adalah $107,5 \times 10^4$ cell/mL. Pertumbuhan masa puncak pada sel *Nannochloropsis oculata* terjadi pada hari ke-5 yaitu mencapai 525×10^4 cell/mL.



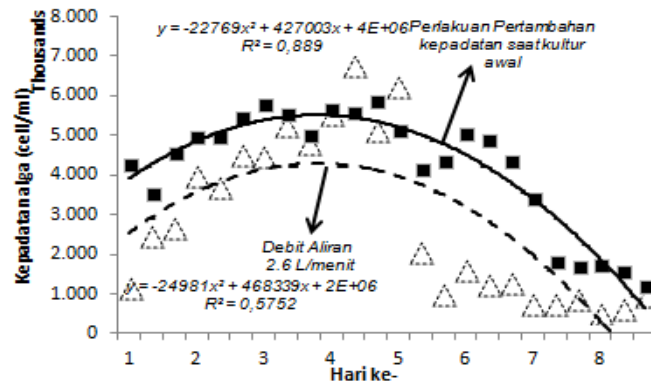
Gambar 4. Kepadatan alga pada perlakuan debit aliran dan kontrol perlakuan

Data laju pertumbuhan dan kepadatan alga pada kontrol perlakuan relatif menurun. Kultur awal yang digunakan adalah sebesar 3.425×10^4 cell/mL. Pada hari pertama kepadatan alga mengalami peningkatan saat siang hari begitu pula pada hari kedua mengalami peningkatan. Hal ini diduga karena pemanfaatan nutrisi yang diberikan saat awal kultur. Walaupun tanpa sinar matahari alga dapat berkembangbiak dengan adanya nutrisi yang tersimpan dan adanya proses reaksi gelap yang dilakukan oleh alga.

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa besarnya laju debit alir yang digunakan menyebabkan media terpapar lebih lama dalam mendapatkan sinar matahari sehingga proses fotosintesis berlangsung optimal. Hal ini mengakibatkan laju pertumbuhan dan kepadatan alga *Nannochloropsis oculata* semakin menurun apabila mendapatkan sinar matahari yang sedikit. Kurangnya cahaya yang dibutuhkan untuk aktifitas fotosintesis akan menyebabkan proses fotosintesis tidak berlangsung normal sehingga mengganggu metabolisme selanjutnya. Andriyono (2001) menjelaskan bahwa periode penyinaran dapat berpengaruh dalam proses sintesis bahan organik pada fotosintesis karena hanya dengan energi yang cukup proses tersebut dapat berjalan dengan lancar.

Pengaruh Pemberian Kultivasi Saat Awal Kultur terhadap Kepadatan dan Laju Pertumbuhan Alga

Perbandingan laju pertumbuhan dan kepadatan alga pada perlakuan debit terdapat pada Gambar 5. Kepadatan awal pada perlakuan debit alir sebesar 115×10^4 cell/mL sedangkan pada perlakuan penambahan kepadatan sebesar 427.5×10^4 cell/mL. Pemberian nutrisi pada masing-masing perlakuan sama, yaitu 1 ml/Liter. Kondisi yang terjadi pada perlakuan penambahan kepadatan alga tidak terlihat peningkatan yang optimal pada hari pertama hingga hari ke-4, bahkan cenderung stabil hingga akhirnya menurun pada hari ke-5 sampai hari ke-8.



Gambar 5. Perbandingan laju pertumbuhan dan kepadatan alga pada perlakuan debit

Sedangkan pada perlakuan debit alir mengalami peningkatan optimal dan membentuk fase-fase yang jelas seperti yang telah diuraikan. Hal ini dikarenakan pemberian nutrisi yang sama tetapi pemberian kepadatan alga *Nannochloropsis oculata* yang berbeda akan mempengaruhi laju pertumbuhan kedua perlakuan. Pada perlakuan penambahan kepadatan alga, pemberian nutrisi ini dimanfaatkan oleh semua metabolisme di dalam media penelitian untuk tumbuh dan berkembangbiak sehingga untuk mencapai kepadatan yang tinggi akan terbatas. Keterbatasan dalam mencapai kepadatan yang tinggi ini juga diduga karena pengaruh debit alir dan juga volume drum yang digunakan.

Berikut data hasil parameter pengujian penelitian :

a. pH Media Kultur *Nannochloropsis oculata*

Besarnya pH selama penelitian ini masih dalam kisaran optimal bagi pertumbuhan *Nannochloropsis oculata* karena dalam pernyataan Fogg(1987), Elzenga (2000), dan Converti (2009) bahwa *Nannochloropsis oculata* dapat tumbuh dengan baik pada kisaran pH 7.0-9.5. Dari perlakuan yang telah dilakukan, masing-masing memiliki kisaran nilai pH yang berbeda. Dari perlakuan tersebut, perlakuan debit alir 0.8 L/menit merupakan perlakuan optimum untuk mendapatkan kepadatan tertinggi dengan pH yang berkisar 7.06-8.06.

b. Nilai Dissolved Oksigen

Kisaran nilai DO pada penelitian memiliki kondisi yang baik untuk perkembangbiakan dan pertumbuhan mikroalga *Nannochloropsis oculata* karena pasokan O₂ yang dihasilkan pada proses fotosintesis cukup tinggi. Pada siang hari kadar oksigen berada pada kondisi yang baik, ketika cahaya yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis mencukupi. Namun pada malam hari fotosintesis tidak dapat berlangsung sehingga dimungkinkannya defisit oksigen karena pemanfaatan oksigen yang tetap berlangsung dari adanya proses respirasi. Hal ini akan berdampak pada laju pertumbuhan alga *Nannochloropsis oculata* yang akan semakin berkurang.

c. Nilai Salinitas Media

Kisaran salinitas yang tercatat pada media ini adalah 35-35.5 ppt untuk perlakuan 0.8 L/menit dan 35 ppt untuk perlakuan 2.6 dan 5.8 L/menit dan kontrol sedangkan untuk perlakuan penambahan kepadatan alga berkisar antara 34-35,5 ppt. Penelitian ini mendapati kisaran suhu normal untuk pertumbuhan alga *Nannochloropsis oculata* seperti yang dikatakan Fulks dan Main (1991), kisaran salinitas yang optimum alga adalah 25 ppt- 35 ppt..

c. Suhu Penelitian

Besarnya suhu selama penelitian menunjukkan hasil yang akurat dan terjadi fluktuasi suhu yang tinggi pada perlakuan penambahan kepadatan awal saat kultivasi dan perlakuan debit aliran. Hal ini disebabkan pada perlakuan tersebut drum media mendapatkan sinar cahaya matahari secara langsung pada kisaran jam 06.00 – 11.00 sehingga mempengaruhi suhu media kultur yang menyebabkan fluktuasi meningkat. Pada jam 11.00 hingga 17.00 sinar matahari menyinari drum tidak secara langsung karena terhalang tembok di sekitar lingkungan penelitian.

Kisaran suhu selama penelitian pada perlakuan debit aliran 0.8 L/menit adalah 24,3 -34,1 °C, perlakuan debit aliran 2.6 L/menit sebesar 25,1-35 °C, dan perlakuan debit aliran 5.8 L/menit sebesar 25-37,5 °C. Masing-masing perlakuan memiliki suhu dengan rentang waktu yang berbeda. Suhu tertinggi terjadi pada perlakuan debit aliran 5.8 L/menit sedangkan suhu terendah terjadi pada perlakuan debit aliran 0.8 L/menit.

d. Kadar Lipid Mikroalga

Data yang dihasilkan sebesar 2,55-54,25 % sedangkan beberapa penelitian memiliki kadar lipid yang berbeda yaitu sebesar 17.89% (Hermanto dkk.,2011), 4.29% (Rizky,2010), dan 36% (Harsanto ,2009). Pengambilan kadar lipid yang dihasilkan kadar lipid yang paling tinggi sebesar 54,25 %. Hal ini dimungkinkan karena pengambilan dilakukan pada saat fase stasioner karena pada fase ini mikroalga yang bertahan akan menyimpan cadangan makanannya dalam bentuk lemak untuk bertahan hidup. Hal ini sesuai dengan pernyataan Panggabean (2011) produksi lipid atau penumpukan cadangan lemak terjadi pada fase stasioner, yaitu ketika nutrisi utama seperti nitrogen untuk sintesa protein atau untuk produksi biomassa sudah tidak mencukupi lagi.

e. Pengaruh Intensitas cahaya matahari

Faktor intensitas cahaya matahari penting untuk pertumbuhan mikroalga. Hal ini karena cahaya membantu proses fotosintesis saat alga *Nannochloropsis oculata* melakukan perkembangbiakan. Pada penelitian ini intensitas cahaya yang digunakan berkisar antara 0 - 20.000 luks. Kisaran angka yang relatif jauh ini dikarenakan tidak adanya pencahayaan saat malam hari dan penerimaan cahaya saat siang hari sangat tinggi. Intensitas cahaya yang sangat tinggi justru menjadikan terhambatnya proses fotosintesis (*fotoinhibisi*) sedangkan intensitas yang terlalu rendah menjadi pembatas bagi proses fotosintesis.

KESIMPULAN

Tegangan baterai mengalami penurunan selama hari ke-1 hingga hari ke-8 secara umum, namun berdasarkan data hasil pengukuran sistem performa sistem PV cukup baik dan dapat menyuplai seluruh energi yang dibutuhkan oleh pompa fotobioreaktor selama eksperimen.

Pengujian mikroalga melalui perlakuan debit aliran dan penambahan perlakuan penambahan kepadatan alga saat kultivasi awal menunjukkan bahwa perlakuan debit aliran 0.8 L/menit memiliki kepadatan alga dan laju pertumbuhan yang tertinggi. Hal ini didukung oleh parameter pendukung berupa nilai pH, DO, suhu, dan intensitas cahaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyono, S. 2001. *Pengaruh Periode Penyinaran Terhadap Pertumbuhan Isochrysis Galbana Klon Tahiti*. Skripsi. IPB. Bogor. Hal 14-22
- Arfiati, D. 2001. *Diktat Kuliah Limnologi*. Kimia Air. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. UB. Malang
- Converti A, A.A.C. , EY. Ortiz, P. Perego, Del , and M .Borghi. 2009. *Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of Nannochloropsis oculata and Chlorella vulgaris for biodiesel production*. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 48(6):1146-1151
- Diharmi, Andarini. 2001. *Pengaruh Pencahayaan Terhadap Kandungan Pigmen Bioaktif Mikroalga Spirulina Platensis Strain Local (Ink)*. Tesis Magister. IPB. Bogor.
- Elzenga, JTM, HBA. Prins, and J. Stefels. 2000. *The Role Of Extracellular Carbonic Anhydrase Activity In Inorganic Carbon Utilization Of Phaeocystis Globosa (Prymnesiophyceae): A Comparison With Other Marine Algae Using The Isotopic Disequilibrium Technique*. *Limnology and Oceanography* 45(2):372-380
- Fiqtinovri, S.M., 2011. *Perancangan Bioreaktor Untuk Budidaya Mikroalga*. Skripsi. Jurusan Keteknikan Pertanian. Skripsi. FTP. UB. Malang
- Fogg. 1975. *Algal Cultures and Fitoplankton ecology*. Second Edition. The university of Wincousin. London
- Fogg GE. 1987. *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology*. The Univercityof Wiconsin Press, Medison
- Fulks, W. And K.L. Main. (Eds).1991. *The Design An Operation Of Commercial Scale Live Feed Production Systems In Rotifer And Microalgae System*. The Oceanic Institute Makapuu Point. Honolulu Hawai. P. 3-52.
- Harsanto, S. dan S.R. Putra (2009), “*Analisis Asam Lemak Mikroalga Nannochloropsis Oculata*”, Prosiding Seminar Nasional Kimia XI (SENAKI XI), Eds: Didik Prasetyoko, dkk., Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, hal. 210-217.
- Hermanto, M. B., Sumardi, L. C. Hawa dan S. M. Fiqtinovri, 2011. *Perancangan Bioreaktor untuk Pembudidayaan Mikroalga*. *Jurnal Teknologi Pertanian* 12, 153-162.
- Hossain , A.B.M.S., A. Salleh, A.N. Boyce, P. Chowdhury, M. Naqiuddin. 2008. *Biodiesel Fuel Production From Algae As Renewable Energy*. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* ; 4 (3) : 250–254.
- Li Y, M. Horsman, N. Wu, C.Q Lan, and N. Dubois-Calero., 2008. *Biofuels From Microalgae*. *Biotechnology Progress* ; 24 (4) : 815–820
- Manullang, C.,Widianingsih, E., Hadi 2012. *Densitas dan Kandungan Total Lipid Mikroalga Spirulina platensis Yang Dikultur pada Tingkatan Perbedaan Fotoperiod*. *Journal of Marine Research. Volume 1, Nomor 1, Tahun 2012, Halaman 24-28*
- Moazami, N. Ranjbar, R. Ashori, A. Tangestani, M. and A.S. Nejad, , 2011. *Biomass And Lipid Productivities Of Marine Microalgae Isolated From The Persian Gulf And The Qenshm Island*. *Biomass and Bioenergy* 35, 1935-1939.

- Panggabean, L. 2011. *Fiksasi karbon dioksida pada mikroalga Chlorella sp. strain Ancol dan Nannochloropsis oculata*. J. Oseanologi dan Limnologi: 309- 321
- Rizky NM. 2010. *Optimasi Kultivasi Mikroalga Laut Nannochloropsis oculata dengan Perlakuan Pupuk Urea untuk Produksi Lemat Nabati*. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya.Malang
- Romimohtarto, K. 2004. *Meroplankton Laut : Larva Hewan Laut yang Menjadi Plankton*. Djambatan.Jakarta.
- Solarex, 1996, *World Design Insolation Map, Solarex 1996*. Available via ISP BP Solar's website. <http://www.bpsolar.com/ContentDocuments%5CI7%5CPV%20system%20sizing%20Tools.zip.island/index.htm>
- Sudarmaji, S., Haryono, B., dan Suhardi, 1997. *Prosedur Analisis untuk Bahan Makanan dan Pertanian*. Edisi 4. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Gadjah Mada.Yogyakarta.