

PERANCANGAN BIOREAKTOR UNTUK PEMBUDIDAYAAN MIKROALGA

Bioreactor Design for Microalgae Cultivation

Mochamad Bagus Hermanto*, Sumardi, La Choviya Hawa, Siti Masithah Fiqtinovri
Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya
Jl Veteran Malang 65145

*Penulis Korespondensi: email mbhermanto@ub.ac.id

ABSTRAK

Mikroalga selain dapat dikembangkan sebagai sumber pakan dan obat, juga digunakan dalam pengolahan limbah logam berat serta dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk biodiesel karena mikroalga selain mengandung protein, karbohidrat dan vitamin juga mengandung minyak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bioreaktor menggunakan prinsip resirkulasi tertutup dengan menggunakan bahan transparan sebagai media sirkulasinya dan menguji rancangan bioreaktor tersebut dengan menggunakan mikroalga *Nannochloropsis oculata* untuk mengetahui besar peningkatan pertumbuhannya. Berdasarkan percobaan yang dilakukan, alat ini dapat berfungsi dengan baik. Faktor pendukung pertumbuhan *Nannochloropsis oculata* yaitu pH, suhu, iluminasi cahaya dan salinitas air sudah sesuai dengan syarat hidupnya dengan kisaran masing-masing 7.2-8.3; 25-27 °C; 1011-1800 lux; dan 3-3.2%. Bibit tebar awal berjumlah 128×10^4 sel/mL dan memberikan hasil tertinggi *Nannochloropsis oculata* yang mencapai 3.293×10^4 sel/ml air di hari ke-11 kultur, namun menurun di hari ke-12 hingga hari ke-15 kultur sebesar 655×10^4 sel/mL. Hal ini dikarenakan menipisnya kandungan nutrisi pada media kultur. Kadar lemak terbesar terdapat di hari ke-11 yaitu 17.89%.

Kata kunci: mikroalga, bioreaktor, budidaya, *Nannochloropsis oculata*.

ABSTRACT

*Microalgae not only can be developed as a source of food and medicine, but also used for heavy metal removal and used as an alternative energy for biodiesel production due to its contain of proteins, carbohydrates and vitamins and also oil. The objective of the research is to design a bioreactor by using the principle of a closed recirculation system using transparent materials as a medium of circulation and bioreactor design was tested by using microalgae *Nannochloropsis oculata* to obtain the biomass growth. Based on the experiments, the design can be well employed. The variable of growth factors for *Nannochloropsis oculata* namely pH, temperature, light intensity, and salinity of water were in the range of requirements needed for cultivation with a value of 7.2-8.3; 25-27 °C; 1011-1800 lux, and 3-3.2% respectively. Initial concentration of biomass was 128×10^4 cells/mL and gave the highest yield *Nannochloropsis oculata* of 3.293×10^4 cells/mL at 11th day of culture, but decreased on day 12 to 15 for 655×10^4 cells/mL. This is due to depletion of nutrients in culture media. The highest fat content found in day-to-11 was 17.89%.*

Keywords: *microalgae, bioreactor, cultivation, Nannochloropsis oculata*

PENDAHULUAN

Mikroalga merupakan tumbuhan air yang berukuran mikroskopik, memiliki berbagai potensi yang dapat dikembangkan sebagai sumber pakan, pangan, dan telah

dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan mulai dari bidang perikanan sebagai makanan larva ikan, organisme penyaring, industri farmasi, dan makanan suplemen dengan kandungan protein, karbohidrat, lipid, dan berbagai macam

mineral (Cresswell *et al.*, 1989; Renaud *et al.*, 1991). Selain itu, mikroalga juga digunakan dalam pengolahan limbah logam berat sebagai pengikat logam dari badan air dan mengendapkannya pada dasar kolam serta dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk biodiesel (Aslan dan Kapdan, 2006; Chisti, 2007; Hameed dan Ebrahim, 2007; Chisti, 2008; Chiu *et al.*, 2009; Angelov dan Bratkova, 2010). Hal ini dikarenakan biomassa mikroalga selain mengandung protein, karbohidrat dan vitamin juga mengandung minyak.

Mikroalga memiliki kandungan minyak cukup besar dan dapat digunakan sebagai salah satu bahan utama penghasil bahan bakar (Tabel 1). Agar perolehan alga dapat lebih mudah, maka dilakukan pembiakan atau budidaya baik dalam skala laboratorium (menggunakan erlenmeyer) atau menggunakan alat berupa bioreaktor untuk skala besar.

Mikroalga merupakan organisme tumbuhan yang paling primitif yang berukuran renik, dan hidup di seluruh wilayah perairan, baik air tawar maupun air laut. Mikroalga memang sudah lama dipergunakan untuk industri farmasi, kesehatan dan sebagainya. Mikroalga diklasifikasikan sebagai tumbuhan karena memiliki klorofil dan mempunyai suatu jaringan sel menyerupai tumbuhan tingkat tinggi. Melalui pendekatan suatu skema klasifikasi, spesies mikroalga dikarakterisasi berdasarkan kesamaan morfologi dan biokimia (Diharmi, 2001).

Tabel 1. Kadar minyak pada mikroalga

| Jenis Alga | Kadar Minyak (% bk) |
|----------------------------------|---------------------|
| <i>Botryococcus braunii</i> | 25-75 |
| <i>Chlorella</i> sp. | 28-32 |
| <i>Cryptocodinium cohnii</i> | 20 |
| <i>Cylindrotheca</i> sp. | 16-37 |
| <i>Dunaliella primolecta</i> | 23 |
| <i>Isochrysis</i> sp. | 25-33 |
| <i>Monallanthus salina</i> | > 20 |
| <i>Nannochloris</i> sp. | 20-35 |
| <i>Nannochloropsis</i> sp. | 31-68 |
| <i>Neochloris oleoabundans</i> | 35-54 |
| <i>Nitzschia</i> sp. | 45-47 |
| <i>Phaeodactylum tricornutum</i> | 20-30 |
| <i>Schizochytrium</i> sp. | 50-77 |
| <i>Tetraselmis sueica</i> | 15-23 |

Sumber: Chisti, 2007

Sel mikroalga dapat dibagi menjadi sepuluh divisi, dan setiap divisi mempunyai karakteristik yang ikut memberikan andil pada kelompoknya, tetapi spesies-spesiesnya cukup memberikan perbedaan-perbedaan dari lainnya. Ada empat karakteristik yang digunakan untuk membedakan divisi mikroalga yaitu; tipe jaringan sel, ada tidaknya flagella, tipe komponen fotosintesa, dan jenis pigmen sel. Selain itu morfologi sel dan bagaimana sifat sel yang menempel berbentuk koloni/filamen adalah merupakan informasi penting didalam membedakan masing-masing kelompok (Graham dan Wilcox, 2000). *Nannochloropsis oculata* merupakan sel berwarna kehijauan, tidak motil, dan tidak berflagela. Selnya berbentuk bola berukuran sedang dengan diameter 2-4 µm, tergantung spesiesnya, dengan kloroplas berbentuk cangkik. *Nannochloropsis oculata* melimpah di sepanjang pantai dan estuari di atas zona fotik dengan konsentrasi 102-104 sel/cm³ (Hu and Gao, 2003). Fitoplankton ini dapat tumbuh baik pada kisaran pH 7-9 tetapi tumbuh rendah pada pH 10,08 (Elzenga *et al.*, 2000). Lebih jelasnya, syarat tumbuh *Nannochloropsis oculata* berdasarkan berbagai penelitian dirangkum seperti pada Tabel 2.

Pertumbuhan sel *Nannochloropsis oculata* sangat dipengaruhi oleh tiga komponen penting untuk tumbuh yaitu cahaya, karbondioksida dan nutrien. *Nannochloropsis oculata* adalah salah satu tanaman yang paling efisien dalam menangkap dan memanfaatkan energi cahaya dan CO₂ untuk keperluan fotosintesis (Diharmi, 2001).

Peluang yang dimiliki mikroalga ini, memerlukan sistem pembudidayaan mikroalga yang dapat memberi kontribusi solusi untuk masalah sumber energi terbarukan. Oleh karena itu dikembangkan suatu rancangan bioreaktor sederhana berbasis resirkulasi tertutup serta kemampuan produksi mikroalga dengan rancangan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bioreaktor menggunakan prinsip resirkulasi tertutup dengan menggunakan bahan transparan sebagai media sirkulasinya dan menguji rancangan bioreaktor tersebut dengan menggunakan mikroalga *Nannochloropsis oculata* untuk mengetahui besar peningkatan pertumbuhannya.

Tabel 2. Syarat media tumbuh *Nannochloropsis oculata*

| Iluminasi Cahaya (lux) | Suhu (°C) | pH | Salinitas (%) | Referensi |
|------------------------|-----------|-------|---------------|---|
| 100-10000 | 25-30 | - | 2.5-3.5 | Kurniastuty dan Isnansetyo, 1995 |
| Terbuka: <10000 | - | - | - | Cahyaningsih <i>et al.</i> , 2006 |
| Tertutup: 500-5000 | - | - | - | Taw, 1990 |
| - | - | 7-9 | - | Elzenga <i>et al.</i> , 2000 |
| - | 25-30 | 8-9.5 | 3.0-3.2 | Fogg, 1987; Converti <i>et al.</i> , 2009 |

BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain peralatan perbengkelan, drum plastik berdiameter 40 cm dan tinggi 60 cm, aerator, plastik PE 0.10 mm dengan panjang 150 m dan lebar 80 cm, pH meter, termometer, pipa pralon ¾ inci, pompa air, besi sebagai rangka dengan penampang 2 cm x 4 cm, dua buah selang plastik bening berdiameter ¾ inch dengan, lem pipa, lem tembak (lem lilin), dan kran air.

Pengujian alat hasil rancangan menggunakan mikroalga *Nannochloropsis oculata* sebanyak 1 liter dengan media pendukung pupuk Walne dan vitamin sebanyak 18 mL (untuk satu kali kultur) yang diambil dari Balai Budidaya Air Payau (BBAP) Situbondo. Bibit berasal dari kultur murni dalam keadaan tidak terkontaminasi oleh zooplankton atau organisme lain. Air yang digunakan adalah air payau (campuran air laut dan air tawar) sebagai media tumbuh utama *Nannochloropsis oculata* dengan salinitas 3%, pH 8-9.5, dan suhu 25-30 °C. Pengukuran variabel meliputi debit, suhu, pH, salinitas, iluminasi cahaya, kepadatan biomassa, dan kadar lemak. Penelitian dilaksanakan dalam 2 tahapan penelitian yaitu perancangan dan pengujian (Gambar 1 dan Gambar 2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

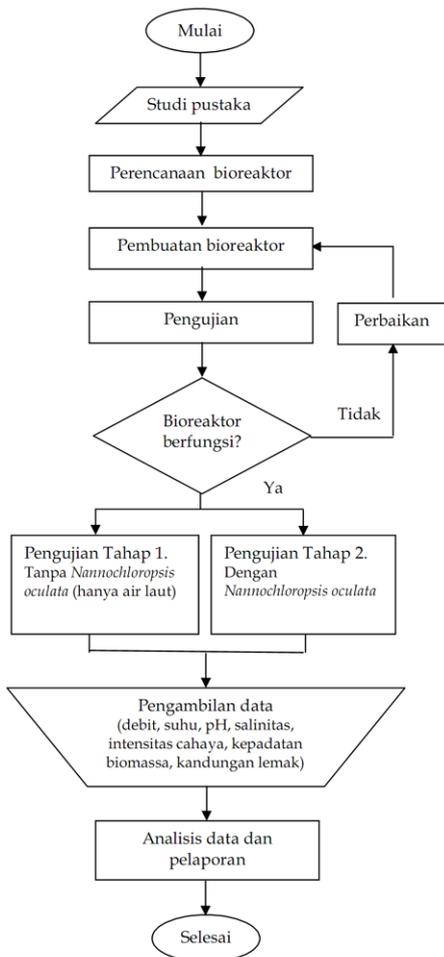
Alat Hasil Perancangan

Bioreaktor mempunyai beberapa bagian utama yang mendukung operasional kerjanya, antara lain sistem rangka dengan dimensi 85 cm x 30 cm x 250 cm, pompa air, plastik PE 0.10 mm dengan dimensi 150 cm x 80 cm, selang, pipa PVC ukuran ¾ inci, dan drum plastik. Kapasitas sistem resirkulasi ini mampu menampung hingga 20 liter sesuai dengan kapasitas maksimum drum. Gambar alat dapat dilihat pada Gambar 3.

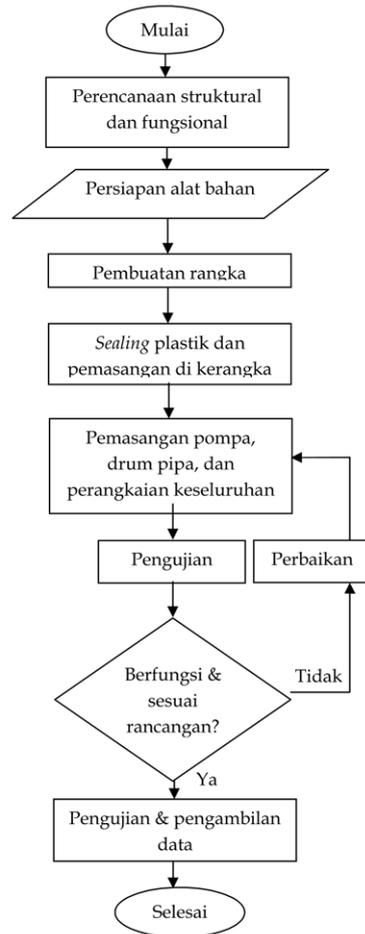
Kerangka merupakan salah satu bagian yang berfungsi memberi bentuk dan kekuatan secara keseluruhan sehingga diperoleh konstruksi yang kokoh dalam hal ini untuk menopang dan menggantung plastik yang berisi media. Kerangka ini terbuat dari besi profil persegi dengan penampang 2cmx4cm, keunggulan besi dengan ukuran ini adalah mudah diperoleh dan kuat untuk dijadikan kerangka.

Plastik yang digunakan berbahan polietilen (PE) berukuran 150 cm x 80 cm. Plastik digunakan sebagai tempat berlangsungnya reaksi terang untuk . Plastik di-press selang seling agar cairan dapat mengalir dengan dengan lintasan yang mengular menyamping. Transmittansi plastik PE UV turun dari 79.8% menjadi 68.2% untuk penggunaan selama 2 tahun (1983-1985) (Pandopoulos dan Grafiadellis, 1991). Plastik PE bersifat penampakan bervariasi dari semi transparan hingga keruh, mudah dibentuk, lemas, dan mudah ditarik, daya rentang tinggi tanpa sobek, meleleh pada suhu 120 °C, sehingga banyak digunakan untuk laminasi dengan bahan lain, tahan terhadap asam, basa, alkohol, dan detergen, kedap air, dan uap air (Pandopoulos dan Grafiadellis, 1991).

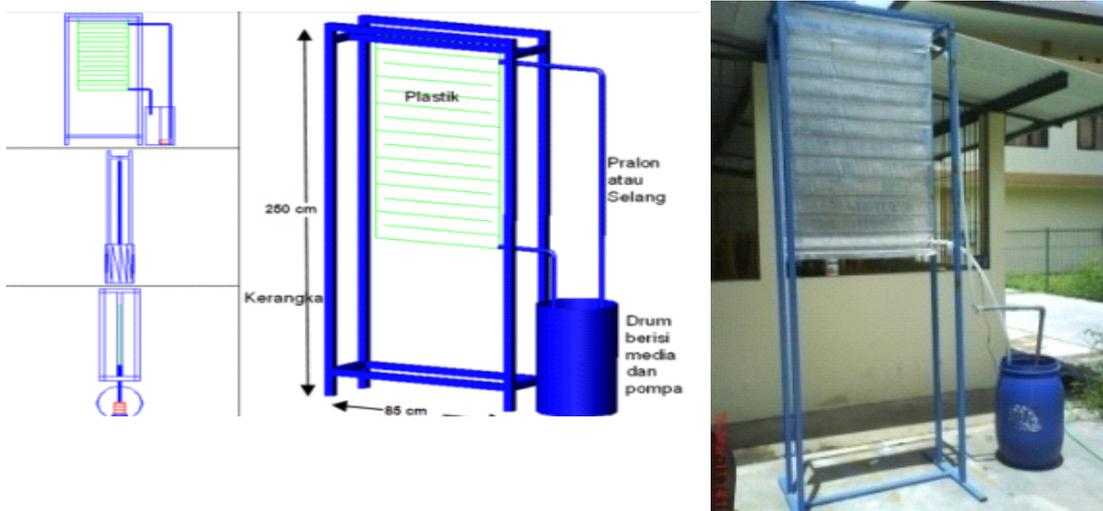
Pompa digunakan untuk menghisap fluida berisi alga, air laut, dan pupuk. Pompa yang dipilih untuk bioreaktor ini adalah pompa celup dengan kapasitas maksimum sebesar 25 liter/menit dan mampu menyedot dengan ketinggian maksimal 3 m, namun dalam pelaksanaannya pompa ini dihubungkan dengan kran sehingga memberikan kapasitas resirkulasi sebesar 0.6 L/menit. Dengan modifikasi debit menjadi lebih kecil maka proses resirkulasi alga dan media menjadi lebih lambat sehingga fotosintesis dapat berjalan mendekati optimum. Debit tersebut masih lebih besar jika dibandingkan penelitian untuk mengurangi logam berat Fe²⁺ hanya menggunakan debit sebesar 0.07 liter per menit (Angelov dan Bratkova, 2010).



Gambar 1. Diagram alir perancangan alat



Gambar 2. Rancangan penelitian



Gambar 3. Bioreaktor dengan sistem resirkulasi

Tabel 4. Variabel pertumbuhan

| Hari ke- | | Iluminasi Cahaya (lux) | Suhu (°C) | Salinitas (%) | pH |
|----------|--------|------------------------|-----------|---------------|------|
| 1 | Min. | 30 | 25 | 3.4 | 5.9 |
| | Maks | 4640 | 26.3 | 3.8 | 6 |
| | Rerata | 1652.6 | 25.66 | 3.66 | 5.98 |
| 2 | Min. | 30 | 25 | 3.6 | 6 |
| | Maks. | 4870 | 26.4 | 3.6 | 6.2 |
| | Rerata | 1393.6 | 25.84 | 3.6 | 6.1 |
| 3 | Min. | 30 | 25.4 | 3.6 | 6.1 |
| | Maks. | 3790 | 30.3 | 3.7 | 6.2 |
| | Rerata | 1334.8 | 27.52 | 3.62 | 6.18 |
| 4 | Min. | 34 | 24.6 | 3.6 | 6.2 |
| | Maks. | 4750 | 26.6 | 3.8 | 6.6 |
| | Rerata | 1356 | 25.44 | 3.72 | 6.38 |
| 5 | Min. | 35 | 25 | 3.8 | 6.4 |
| | Maks. | 1924 | 27.9 | 3.9 | 6.5 |
| | Rerata | 920.6 | 26.24 | 3.82 | 6.42 |
| 6 | Min. | 40 | 24.1 | 3.7 | 6.3 |
| | Maks. | 8720 | 28.4 | 4 | 6.8 |
| | Rerata | 3568 | 26.24 | 3.82 | 6.62 |

Drum yang digunakan mampu menampung hingga 20 L dengan tinggi 80 cm dan diameter 40 cm dan terbuat dari bahan plastik *high density poly-ethylene* (HDPE). Pada drum terdapat celah untuk masuknya pipa dan selang keluaran dari plastik serta resirkulasi udara.

Pengujian tanpa Biomassa

Bioreaktor yang telah dirancang diletakkan di bawah naungan (di tempat teduh) dengan iluminasi cahaya dan suhu air optimum pada saat siang hari yang dilakukan selama 6 hari berturut-turut dan iluminasi cahaya berasal dari sinar matahari tanpa pencahayaan buatan (Tabel 4). Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa variabel pertumbuhan sesuai dengan syarat optimum pertumbuhan kecuali salinitas perlu sedikit pengenceran dan pH yang terlalu asam.

Kultur *Nannochloropsis oculata* di dalam Bioreaktor

Kultur dengan menggunakan *Nannochloropsis oculata* hanya dilakukan untuk satu kali kultur (7-10 hari). Bibit yang sudah tiba harus segera dikultur agar tidak mati. Tetapi bila ingin mengkulturkannya sehari kemudian, harus dimasukkan ke dalam lemari pendingin dan dikocok setiap satu jam sekali, agar resiko kematian bisa berkurang. Penyimpanan bibit di dalam kulkas untuk menjaga agar suhu tetap stabil. Bibit *Nannochloropsis oculata* yang ditempatkan pada botol volume 500 mL dan

pupuk Walne 18 mL dapat dilihat pada Gambar 4. Jumlah sebar bibit adalah 128×10^4 sel/mL.



Gambar 4. Bibit *Nannochloropsis oculata* dan pupuk Walne

Sterilisasi dilakukan pada alat dan bahan yang akan digunakan untuk proses pengkulturan. Mulai dari drum, pipa/selang dan plastik akan dialiri dengan air besuhu kurang lebih 70 °C selama 15 menit. Sebelum rangkaian alat dialiri dengan air panas, drum dicuci terlebih dahulu menggunakan deterjen.

Bibit *Nannochloropsis oculata* yang sudah sampai ditabur ke dalam drum yang sudah berisi cairan pupuk Walne. Penebaran dilakukan dengan menuangkan seluruh bibit alga ke dalam drum. Pemberian pupuk hanya dilakukan sekali pada saat memulai pembiakan. Penebaran bibit diakhiri dengan menutup drum agar kontaminasi lingkungan luar dapat diminimumkan.

Pengoperasian alat dilakukan setelah campuran cairan sudah merata. Pompa dinyalakan dan cairan didalam drum dipompa ke atas rangka melalui melalui pipa/selang, kemudian masuk ke plastik. Gaya gravitasi membuat cairan turun dan mengalir dengan sendirinya. Gelembung-gelembung yang dihasilkan pada saat cairan mengalir turun di dalam plastik akan meningkatkan kelarutan oksigen maupun karbondioksida yang dapat membantu mikroalga tersebut berfotosintesis. Karbondioksida memang diperlukan mikroalga untuk proses fotosintesis dan berkembang biak, namun kadar karbondioksida yang dibutuhkan oleh *Nannochloropsis oculata* hanya sekitar 1-2%. Cairan berisi mikroalga yang mengalir turun di dalam plastik ini kemudian akan kembali masuk ke dalam drum dan dipompa lagi ke atas untuk memasuki plastik. Hal inilah yang dimaksudkan dengan bioreaktor menggunakan prinsip resirkulasi.

Variabel yang diteliti adalah volume/kepadatan dan kandungan lipid dari mikroalga yang dikultur. Namun karena bibit *Nannochloropsis oculata* ini dibeli dari daerah

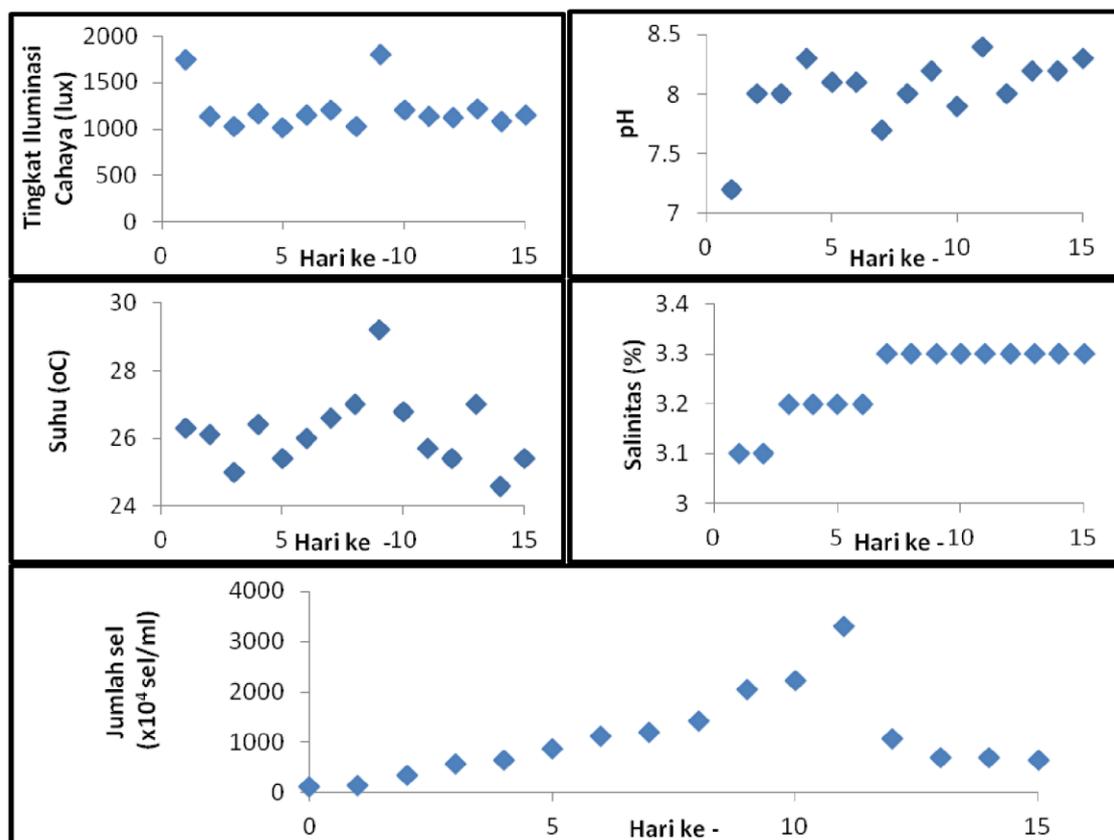
dan tempat kultur yang berbeda, maka dalam perkembangannya memerlukan waktu untuk beradaptasi dengan lingkungannya yang baru, sehingga kultur dilakukan hingga 15 hari.

Selama 15 hari pengkulturan dilakukan pengambilan data pH, suhu, salinitas dan tingkat iluminasi cahaya seperti yang dilakukan pada pengujian tanpa alga. Sampel diambil setiap hari dan dilakukan pengamatan volume *Nannochloropsis oculata* yang terdapat dalam setiap liter air.

Pada pengamatan kondisi selama proses kultur, tingkatiluminasi cahayapada siang hari yaitu terendah 1011 lux pada hari ke-5 dan nilai tertinggi terdapat sebesar 1800 lux dan terendah pada hari ke-9 yang bergantung pada keadaan cuaca. Suhu berkisar antara 24.60–29.20 °C dengan nilai tertinggi terdapat pada hari ke-9 sebesar 29.20 °C dan terendah pada hari ke-14 sebesar 24.60 °C. Salinitas dan pH masing-masing berkisar antara 3.0-3.3% dan 7.2–8.3 (Gambar 5).

Iluminasi Cahaya

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai iluminasi cahaya sudah memenuhi standar



Gambar 5. Variabel pengamatan dan kelimpahan mikroalga

lingkungan pertumbuhan *Nannochloropsis oculata* dimana jika dibandingkan dengan pendapat Kurniastuti dan Isnansetyo (1995) yang mengatakan bahwasanya besar iluminasi cahaya adalah berkisar 100-10.000 lux.

Pada mikroalga, semua sel yang memiliki kloroplas berpotensi untuk melangsungkan reaksi fotosintesis. Pada dasarnya, rangkaian reaksi fotosintesis dapat dibagi menjadi dua bagian utama: reaksi terang (karena memerlukan cahaya) dan reaksi gelap (tidak memerlukan cahaya tetapi memerlukan karbon dioksida) (Taiz dan Zeider, 2002).

Reaksi terang terjadi pada grana, terjadi konversi energi cahaya menjadi energi kimia dan menghasilkan oksigen (O₂). Reaksi Calvin terjadi di dalam stroma. yang terjadi seri reaksi siklik yang membentuk gula dari bahan dasar CO₂ dan energi (ATP dan NADPH). Reaksi ini disebut reaksi gelap karena tidak bergantung pada ada tidaknya cahaya sehingga dapat terjadi meskipun dalam keadaan gelap (tanpa cahaya). Energi yang digunakan dalam siklus Calvin diperoleh dari reaksi terang. Dari semua radiasi matahari yang dipancarkan, hanya panjang gelombang tertentu yang dimanfaatkan tumbuhan untuk proses fotosintesis, yaitu panjang gelombang yang berada pada kisaran cahaya tampak (380-700 nm). Pigmen klorofil menyerap lebih banyak cahaya terlihat pada warna biru (400-450 nm) dan merah (650-700 nm) dibandingkan hijau (500-600 nm) (Taiz *et al.*, 2002; Putuyudiarta, 2010).

Keasaman (pH)

Hasil pengukuran pH selama penelitian berkisar antara 7.2-8.4. Nilai pH ini tergolong sesuai bagi kehidupan *Nannochloropsis oculata* seperti yang dikatakan oleh Fogg (1987), Elzenga (2000), dan Converti (2009) bahwa *Nannochloropsis oculata* dapat tumbuh dengan baik pada kisaran pH 7.0-9.5. Pada hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh perubahan nilai pH relatif stabil selama kultur.

Suhu

Suhu selama penelitian berkisar antara 24.60-29.20 °C. Suhu tertinggi terdapat di hari ke-9 yaitu 29.20 °C dan terendah pada hari

ke-14 yaitu 24.60 °C. Suhu mempengaruhi aktifitas metabolisme organisme, selain itu suhu sangat berpengaruh terhadap kehidupan dan pertumbuhan biota air. Secara umum laju pertumbuhan meningkat sejalan dengan kenaikan suhu, dapat menyebabkan kematian bila peningkatan suhu sampai ekstrim (Rizky, 2010). Selama penelitian, sumber cahaya hanya berasal dari sinar matahari tanpa adanya penambahan cahaya dari lampu di malam hari. Suhu pada hasil pengamatan sudah memenuhi kriteria untuk *Nannochloropsis oculata* dimana dapat tumbuh dengan baik pada kisaran suhu 25-30 °C (Fogg, 1987; Elzenga *et al.*, 2000; Converti *et al.*, 2009).

Salinitas

Salinitas selama kultur berkisar antara 3.0-3.3%. Kisaran ini termasuk dalam kisaran normal untuk pertumbuhan *Nannochloropsis oculata* kecuali setelah hari ke-7 karena pengaruh laju penguapan air. Menurut Fogg (1987) dan Converti (2009) kisaran salinitas untuk pertumbuhan mikroalga adalah 3.0-3.2%. Salinitas merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi kandungan HUFA (*Highly Unsaturated Fatty Acid*) pada mikroalga (Rizky, 2010).

Kepadatan *Nannochloropsis oculata*

Laju pertumbuhan merupakan variabel yang pengukurannya didasarkan pada besarnya kepadatan sel yang terjadi pada *Nannochloropsis oculata* dalam kurun waktu tertentu. Pada penelitian ini, pengukuran laju pertumbuhan puncak *Nannochloropsis oculata* terjadi pada hari ke-11 dengan kepadatan mencapai 3.29×10^4 sel/mL. Hal ini dikarenakan nutrisi pada media kultur yang masih tersedia dan pertumbuhan sel akan dipengaruhi oleh ketersediaan unsur utama dalam lingkungan kultur yaitu berupa C, H, O, N, P, K, S, Ca, Fe, Mg, dan keberadaan unsur mikronutrien. Komponen vitamin yang ditambahkan bersamaan dengan pupuk Walne dapat mempercepat pertumbuhan sel. Selain itu, kondisi lingkungan juga berpengaruh terhadap perkembangan sel *Nannochloropsis oculata* yang dikultur, yang antara lain suhu, iluminasi cahaya, pH, dan konsentrasi nutrisi dalam media.

Pada hari ke-12 hingga hari ke-15, kelimpahan sel mengalami penurunan. Hal

ini dikarenakan menipisnya kandungan nutrisi dalam media kultur dan ketatnya kompetisi dengan *Nannochloropsis* yang makin bertambah. Ketersediaan nutrisi yang terlalu sedikit akan mengakibatkan pertumbuhan lambat dan melemahkan kondisi sel sehingga jumlah kepadatan sel menurun (Rizky, 2010). Kadar nutrisi yang rendah dalam media akan menurunkan produktivitas sel alga. Sel yang telah mati akan terurai dan pecah dengan sendirinya, karena tidak dapat mengatur tekanan osmosis. Hal inilah yang menyebabkan air/media dapat menjadi bening bila mikroalga di dalamnya telah mati.

Pada media kultur, yang berkembang bukan hanya sel *Nannochloropsis oculata*, melainkan juga berbagai sel mikroalga lainnya. Meski begitu, pengamatan hanya dibatasi satu sel, yaitu *Nannochloropsis oculata*. Selain mikroalga yang merupakan plankton, zooplankton juga banyak tumbuh di dalam media kultur. Pengamatan dilakukan dengan memberikan cairan formalin 20% untuk mematikan sel baik plankton juga zooplankton. Pematian sel dimaksudkan agar pengurangan jumlah sel plankton *Nannochloropsis oculata* akibat dimakan oleh zooplankton berkurang.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Edoar, 2010) yang melakukan kultur *Nannochloropsis oculata* skala laboratorium dengan konsentrasi nitrat dan salinitas yang berbeda, kepadatan biomassa terbaik adalah sebesar 693.33×10^4 sel/mL. Penelitian sebelumnya (Rizky, 2010) yang juga melakukan kultur *Nannochloropsis* skala laboratorium dengan penambahan pupuk urea pada nutrisi, kepadatan biomassa puncak terjadi di hari ke-5 yaitu sebesar 2866.57×10^4 sel/mL.

Bila dibandingkan antara kedua penelitian sebelumnya dengan kultur yang dilakukan menggunakan bioreaktor sederhana dengan kepadatan biomassa puncak sebesar 3.165×10^4 sel/mL selama 11 hari dapat dikatakan bahwa budidaya menggunakan bioreaktor ini lebih menguntungkan dalam segi hasil walaupun dengan mengandalkan iluminasi cahaya hanya pada siang hari.

Pertumbuhan fitoplankton ditandai dengan bertambah besarnya ukuran sel atau bertambah banyaknya jumlah sel dengan 5

fase pertumbuhan yaitu (Kurniastuty *et al.*, 1995):

1. Fase istirahat. Fase ini berhubungan dengan beberapa faktor antara lain penurunan aktivitas enzim, penurunan tingkat metabolisme, peningkatan ukuran sel tetapi berkembang biak. Terjadi setelah penambahan inokulum ke dalam media kultur, yaitu hari ke 0 sampai hari ke 1 saat penebaran bibit *Nannochloropsis oculata* dilakukan.
2. Fase logaritma/eksponensial. Fase ini ditandai dengan pembelahan sel dengan laju pertumbuhan sel secara cepat. Laju pertumbuhan biasanya relatif konstan dan nilainya tergantung ukuran sel, iluminasi cahaya dan suhu. Cepat lambatnya pertumbuhan eksponensial pada kultur volume terbatas akhirnya akan berhenti. Faktor-faktor yang menyebabkan hal ini terjadi adalah habisnya nutrisi, laju penyediaan karbondioksida, perubahan pH media sebagai hasil dari preferensi penyerapan unsur-unsur tertentu, dan penurunan iluminasi cahaya. Pada penelitian ini, fase eksponensial terjadi pada hari ke-1 hingga hari ke-11, yang mana pertumbuhan terus meningkat hingga mencapai puncak.
3. Fase berkurangnya pertumbuhan relatif. Pada hari ke-12 hingga ke-13, jumlah sel menurun drastis setelah mencapai puncak. Hal ini dikarenakan berkurangnya salah satu faktor pendukung seperti nutrisi, kecepatan suplai CO_2 dan O_2 , berubahnya pH, terbatasnya cahaya yang masuk dalam media serta adanya bahan yang beracun.
4. Fase stasioner. Pada fase ini laju reproduksi sama dengan laju kematian sehingga kepadatannya tetap. Produksi pada fase stasioner juga tergantung pada kondisi alami dari faktor-faktor yang membatasi pertumbuhan. Peristiwa ini terjadi pada hari ke-14 dan ke-15.
5. Fase kematian. Fase kematian merupakan penurunan jumlah organisme kultur setelah melewati fase stasioner. Pada fase ini ditandai dengan laju kematian yang lebih tinggi daripada laju reproduksi. Kematian terjadi di hari ke-20 kultur. Pada fase ini ditandai dengan laju kematian yang lebih tinggi daripada laju reproduksi.

Kadar Lemak

Berdasarkan pengamatan kadar lemak yang dilakukan, didapatkan hasil sebesar 3.56% untuk pertumbuhan akhir (hari ke-15). Pada pertumbuhan puncak *Nannochloropsis oculata* di hari ke-11, kadar lemak mencapai 17.89% dengan hanya mendapatkan iluminasi cahaya pada siang hari antara 1000-2000 lux. Kadar lemak yang dihasilkan bisa dikatakan masih rendah. Penelitian sebelumnya oleh Rizky (2010) mendapatkan hasil rata-rata 4.29% kadar lemak pada *Nannochloropsis oculata* yang dikultur murni tanpa menggunakan pupuk tambahan. Berdasarkan penelitian Christy (2007), *Nannochloropsis oculata* dapat mencapai kadar lemak sebesar 31-68% pada kondisi kultur tertentu. Harsanto (2009) melakukan kultur *Nannochloropsis oculata* semi massal *outdoor* pada iluminasi cahaya 9000 lux diperoleh prosentase lipid total sebesar 36%.

Berdasarkan penelitian Rizky (2010), kandungan lemak dari mikroalga meningkat di bawah kondisi konsentrasi nitrogen yang rendah. Dalam penelitian tersebut, sumber nitrogen didapat dari urea, karena urea merupakan sumber nitrogen organik. Nitrogen yang merupakan unsur makronutrien dapat mempengaruhi kegiatan metabolisme sel yaitu proses transportasi, katabolisme, asimilasi, dan khususnya biosintesis protein karena dengan adanya reaksi enzimatik yang dihasilkan oleh protein maka dapat mengkonversi lemak, sehingga secara tidak langsung nitrogen mempengaruhi kandungan lemak. Konsentrasi nitrogen yang rendah dapat mempertinggi kandungan lemak mikroalga, tetapi konsentrasi sel umumnya rendah pada kondisi nitrogen yang sedikit (Takagi 2000).

Hasil penelitian Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi SBRC menunjukkan, dari ratusan jenis mikroalga, beberapa diantaranya mengandung senyawa bioaktif yang ideal sebagai bahan baku biofuel. Kandungan minyak mentah yang dapat diperoleh dari sejumlah mikroalga dari bahan keringnya bisa mencapai 31-68% untuk jenis *Nannochloropsis oculata*. Jenis yang lain seperti *Chlorella*, kandungan minyak mentahnya antara 28-32%, *Dunaliella salina* 23% sedangkan *Isochrysis galbana* 20-35%. Karakteristik spesies mikroalga yang ideal untuk dikembangkan menjadi biofuel adalah

yang memiliki kandungan lemak tinggi, adaptif terhadap perubahan lingkungan dan pertumbuhannya cepat. Setiap hektar lahan budidaya alga bisa memproduksi 100000 liter minyak mentah, sementara kelapa sawit hanya menghasilkan 5950 liter/ha dan kedelai 446 liter/ha (Kawaroe, 2008).

Biaya Perancangan dan Energi Operasional

Total biaya perancangan hingga perakitan bioreaktor ini adalah sebesar Rp. 2.459.600,00. Bioreaktor ini menggunakan tenaga listrik yang tentunya berpengaruh terhadap biaya pengoperasiannya. Pompa yang digunakan memiliki daya sebesar 75 Watt yang berarti pompa tersebut mengkonsumsi energi listrik sebesar 75 Joule setiap detiknya.

Pompa digunakan selama 15 hari penuh tanpa berhenti. Jadi, kebutuhan energi dari bioreaktor adalah sebesar 75 W x 24 jam x 15 hari = 27000 W. Jika dihitung besar biaya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan bioreaktor ini, dengan besar 1 kWh adalah Rp. 800,00, maka biaya yang dibutuhkan/digunakan selama 15 hari pengkulturan adalah sebesar Rp. 21.600,00.

SIMPULAN

Bioreaktor dirancang dengan menggunakan prinsip resirkulasi, dengan mikroalga beserta medianya diresirkulasikan untuk berfotosintesis dengan debit aliran dari bioreaktor adalah 0.6 liter/menit. Perancangan bioreaktor sederhana ini telah memenuhi syarat tumbuh mikroalga dengan nilai iluminasi cahaya, pH, suhu, dan salinitas masing-masing 1011-1800 lux, 7.2-8.3, 25-27 °C, 3.0-3.3%. Bioreaktor dapat menghasilkan alga *Nannochloropsis oculata* hingga mencapai kepadatan 3293×10^4 sel/mL di hari ke 11 (bibit tebar awal sebesar 128×10^4 sel/mL) dengan kadar lemak 17.89%. Kadar lemak ini masih dapat ditingkatkan menuju nilai yang lebih optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Angelov A and Bratkova S. 2010. Influence of Fe²⁺ ions on the process of biological removal of manganese in rock filter. *Trakia Journal of Sciences* 8(2):506-510

- Aslan S and Kapdan IK. 2006. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological Engineering* 28(1):64-70
- Cahyaningsih S dan Mei AN. 2006. *Petunjuk Teknis Produksi Pakan Alami*. Balai Benih Air Payau (BBAP), Situbondo
- Chisti Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25(3):294-306
- Chisti Y. 2008. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology* 26(3):126-131
- Chiu S-Y, Kao C-Y, Tsai M-T, Ong S-C, Chen C-H, and Lin C-S. 2009. Lipid accumulation and CO₂ utilization of *Nannochloropsis oculata* in response to CO₂ aeration. *Bioresource Technology* 100(2):833-838
- Converti A, Casazza AA, Ortiz EY, Perego P, Del, and Borghi M. 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
- Cresswell RC, Rees TAV, and Shah N. 1989. *Alga and Cyanobacterial Biotechnology*. Mc Graw Hill, London
- Diharmi A. 2001. *Pengaruh Pencahayaan Terhadap Kandungan Pigmen Bioaktif Mikroalga Spirulina platensis Strain Local (Ink)*. Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Edoar E. 2010. *Optimasi Laju Pertumbuhan Nannochloropsis sp. Pada Salinitas dan Konsentrasi Nitrat Media Kultur yang Berbeda*. Politeknik Negeri Jember, Jember
- Elzenga JTM, Prins HBA, and Stefels J. 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
- Fogg GE. 1987. *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology*. The University of Wisconsin Press, Madison
- Graham LE and Wilcox LW. 2000. *Algae*. University of Wisconsin Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey
- Hameed MSA and Ebrahim OH. 2007. Review biotechnological potential uses of immobilized algae. *International Journal of Agriculture & Biology*. 9(1):183-192
- Hu H and Gao K. 2003. Optimization of growth and fatty acid composition of a unicellular marine picoplankton, *Nannochloropsis* sp. with enriched carbon sources. *Biotechnology Letters*. 25(5):421-425
- Kawaroe M. 2008. *Mikroalga Sumber Potensial Biofuel Bogor*. Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi (SRBC), Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Kurniastuty dan Isnansetyo A. 1995. *Teknik Kultur Fitoplankton dan Zooplankton*. Kanisius, Yogyakarta
- Pandopoulos F and Grafiadellis M. 1991. A study of light transmissivity of different plastic materials used for covering greenhouses. *Acta Hort. (ISHS)*:287:99-108
- Putuyudiarta. 2010. Fotosintesis. Dilihat 8 Nopember 2011. <<http://blog.unila.ac.id/suryantoro/2010/05/24/fotosintesis/>>
- Renaud S, Parry D, Thinh L-V, Kuo C, Padovan A, and Sammy N. 1991. Effect of light intensity on the proximate biochemical and fatty acid composition of *Isochrysis* sp. and *Nannochloropsis oculata* for use in tropical aquaculture. *Journal of Applied Phycology* 3(1):43-53
- Rizky NM. 2010. *Optimasi Kultivasi Mikroalga Laut Nannochloropsis oculata dengan Perlakuan Pupuk Urea untuk Produksi Lemat Nabati*. Fakultas Perikanan, Universitas Brawijaya, Malang
- Taiz L and Zeiger E. 2002. *Plant Physiology* Third Edition. Sunderland, editor: Sinauer Associates. p. 17-34
- Takagi S. 2000. *Roles for actin filaments in chloroplast motility and anchoring*. Kluwer Academic Publishers, Netherland. pp. 203-212
- Taw N. 1990. *Petunjuk Kultur Murni dan Massal Mikroalga*. UNDP. FAO