

Studi Pengurangan Gas CO₂ dari Emisi PLTU Batubara dengan Menggunakan Mikroalga *Botryococcus braunii*

Jami'atul Hikmah^{1*}, Ahmad Erlan Afiuddin¹, Tanti Utami Dewi¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: jamiatulhikmah@student.ppns.ac.id

Abstrak

PLTU Batubara merupakan salah satu industri penghasil emisi gas CO₂ terbesar di Indonesia. Emisi gas CO₂ dari PLTU Batubara mengandung gas CO₂ sebesar 10-20%, sedangkan gas CO₂ di alam sebesar 0,036%. Pengolahan emisi gas CO₂ di PLTU Batubara belum banyak diterapkan. Salah satu metode pengurangan emisi gas CO₂ yaitu menggunakan mikroalga *Botryococcus braunii*. Penelitian ini menggunakan variasi penambahan nutrisi pupuk *Walne* dan vitamin sebesar 3 mL/L kultur. Volume mikroalga yang dimasukkan sebesar 10% dari 5 L volume total reaktor. Pengurangan gas CO₂ oleh mikroalga *Botryococcus braunii* dilakukan dengan pendekatan analisis alkalinitas dan analisis klorofil a. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis alkalinitas didapatkan nilai CO₂ Total tertinggi untuk reaktor kontrol sebesar 1740,342 mg CO₂/L dan untuk reaktor penelitian sebesar 2067,072 mg CO₂/L. Hasil analisis klorofil a tertinggi untuk reaktor kontrol sebesar 0,416 mg/L dan untuk reaktor penelitian sebesar 0,627 mg/L. Nilai tertinggi CO₂ Terserap dalam penelitian ini untuk reaktor kontrol sebesar 3988,980 mg CO₂ dan untuk reaktor penelitian sebesar 6020,316 mg CO₂ dengan nilai CO₂ Terserap rata-rata untuk reaktor kontrol sebesar 2689,651 mg CO₂ dan nilai CO₂ Terserap rata-rata untuk reaktor penelitian sebesar 3459,679 mg CO₂.

Kata Kunci: Alkalinitas, *Botryococcus braunii*, CO₂, Klorofil a

1. PENDAHULUAN

Industri yang paling banyak menghasilkan emisi gas CO₂ adalah PLTU Batubara. Penelitian Istiyanie (2011), menjelaskan emisi gas CO₂ dari PLTU Batubara mengandung gas CO₂ sebesar 10-20%, sedangkan gas CO₂ di alam sebesar 0,036%. Kelemahan penggunaan batubara sebagai bahan baku dalam industri PLTU adalah batubara tidak ramah lingkungan, karena memiliki komposisi yang terdiri dari kandungan C, H, O, N, S, dan partikulat. Penelitian Istiyanie (2011) menjelaskan Kandungan C pada batubara dapat menghasilkan gas CO₂ yang paling banyak dari bahan bakar fosil lainnya.

Penelitian Prayitno (2016) menjelaskan penggunaan mikroalga sebagai penyerapan CO₂ secara biologi merupakan sebuah alternatif untuk mengganti metode fisika yang memiliki biaya teknologi mahal. Mikroalga dipilih karena dapat digunakan untuk mitigasi CO₂ yang dapat menghasilkan energi seperti biofuel, bahan baku bioplastik, farmasi, kosmetik, detergen, dan produk pakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kemampuan mikroalga *Botryococcus braunii* dalam menyerap karbondioksida (CO₂) dari emisi PLTU Batubara. Penelitian ini dilakukan satu tahap selama 14 hari sesuai dengan proses pertumbuhan mikroalga *Botryococcus braunii* dalam melakukan fotosintesis. Sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem *batch*.

2. METODE

Metode penelitian diuraikan dengan tujuan sebagai metode pendekatan yang digunakan untuk menjawab permasalahan penelitian, agar sesuai dengan tujuan dan tahapan penelitian yang rinci, singkat, dan jelas. Metode penelitian dibagi dalam 3 tahapan penting, yaitu:

2.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan meliputi persiapan alat dan bahan penelitian, secara umum sebagai berikut :

- a. Persiapan Reaktor, penelitian ini menggunakan reaktor yang berbentuk tabung dengan volume 6 L (volume yang dipakai sebesar 5 L) yang terbuat dari bahan plastik. Penelitian ini membutuhkan 16 reaktor dengan 2 reaktor sebagai kontrol. 14 reaktor penelitian mendapatkan *supply* gas CO₂ dari cerobong PLTU Batubara dan 2 reaktor kontrol mendapatkan *supply* gas CO₂ dari udara ambien di kawasan PLTU Batubara.

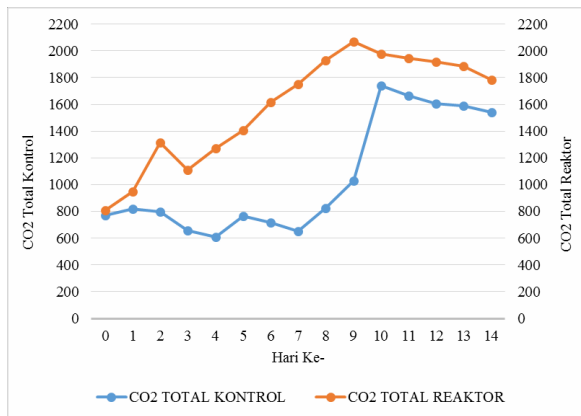
- b. Persiapan Bahan, bibit murni mikroalga *Botryococcus braunii*, pupuk *Walne* dan vitamin didapatkan dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Situbondo. Air laut yang digunakan sebagai media tumbuh mikroalga diperoleh dari sumber air laut *inlet primary* PLTU Batubara. Sebelum digunakan sebagai media tumbuh, air laut disterilisasi dengan menambahkan 60 ppm klorin dan 30 ppm Natrium tiosulfat.
- c. Persiapan Alat dan Bahan Analisis, analisis Klorofil a mengacu pada standar APHA (2005) dengan menggunakan metode 10200 (teknik spektrofotometri) dan analisis alkalinitas mengacu pada standar APHA (2005) dengan menggunakan metode spektrofotometri 2320 dengan cara titrasi, kemudian dilanjutkan dengan metode 4500-CO₂.
- 2.2 Tahap Penelitian
- a. Tahap Penelitian Observasional, tahap ini meliputi pengambilan sampel air laut di *inlet primary* PLTU Batubara untuk mengetahui karakteristik sampel air laut, pengujian karakteristik emisi CO₂ dari PLTU Batubara dan pemantauan pertumbuhan mikroalga sebelum dituang ke reaktor.
- b. Tahap Penelitian Eksperimental, tahap ini meliputi proses pengembangbiakan (*Seeding*) mikroalga dan proses pengolahan (*Feeding*) mikroalga.
- 2.3 Tahap Analisis
- a. Tahap Pengumpulan Data, data yang dikumpulkan dalam penelitian ini berupa data primer yang meliputi data pH dan suhu yang diukur setiap hari selama 14 hari, konsentrasi CO₂ dari cerobong PLTU Batubara sebesar 14,5% dan Laju Alir CO₂ yang dimasukkan ke dalam reaktor penelitian sebesar 30 L/menit.
- b. Tahap Analisis Data, penyerapan emisi gas CO₂ oleh mikroalga dihitung melalui pendekatan perhitungan dari persamaan klorofil a dan alkalinitas, sebagai berikut :
- Analisis Alkalinitas, dilakukan untuk menentukan kandungan karbondioksida (CO₂) yang terserap oleh mikroalga. Analisis Alkalinitas mengacu pada standar APHA (2005) menggunakan metode spektrofotometri 2320 dengan cara titrasi menggunakan larutan H₂SO₄ sebagai titran. Perhitungan Alkalinitas menggunakan persamaan, sebagai berikut :
- $$\frac{(\text{Titration Volume} - \text{Blank Volume}) \times \text{Normality of H}_2\text{SO}_4 \times 50000}{\text{Sample Volume}}$$
- Analisis Klorofil a, dilakukan untuk menentukan kandungan mikroalga pada reaktor. Analisis Klorofil a dilakukan menggunakan *Spectrophotometric Determination of Chlorofil* sesuai standar yang ditetapkan oleh APHA, (2005) dengan menggunakan persamaan, sebagai berikut :
- $$Chl\ a\ (\mu\text{g/L}) = \frac{26,7 (664 - 665) \times \text{Absorbance}}{\text{Sample Volume}}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

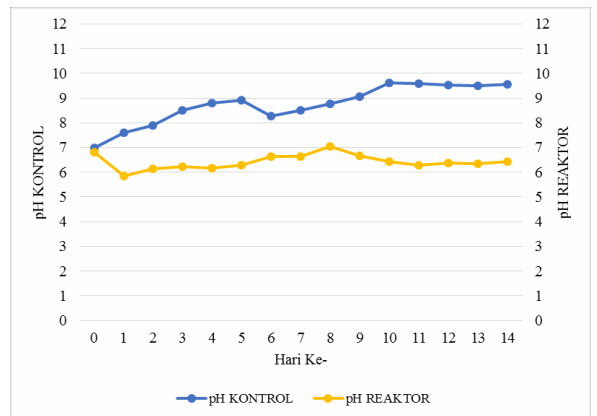
a. Analisis Alkalinitas

Perhitungan pembentukan CO₂ dilakukan dengan berbagai tahapan perhitungan, diantaranya dengan melakukan perhitungan nilai alkalinitas bikarbonat, alkalinitas karbonat, alkalinitas hidroksida, kadar CO₂ bebas, dan kadar CO₂ total. Perhitungan CO₂ Total dipengaruhi oleh nilai pH media yang terukur. pH merupakan faktor penting yang mempengaruhi reaksi kesetimbangan hubungan karbondioksida (CO₂) yang berikatan dengan air dalam media. Nilai pH cenderung sama, untuk reaktor kontrol nilai pH lebih besar berkisar antara 7-9. Hal tersebut dikarenakan pada reaktor kontrol untuk masing-masing tahap penelitian mengambil supply CO₂ dari udara di sekitar kawasan PLTU Batubara sebesar 0,036%, sehingga CO₂ yang tertangkap lebih sedikit dan mengakibatkan kenaikan nilai pH di reaktor. Reaktor penelitian memiliki nilai pH yang lebih kecil daripada reaktor kontrol yaitu berkisar antara 5-7. Hal tersebut dikarenakan reaktor penelitian mendapatkan supply CO₂ langsung dari cerobong PLTU Batubara sebesar 14,5%, sehingga CO₂ yang tertangkap lebih banyak dan mengakibatkan penurunan nilai pH di reaktor.

Berikut ini adalah grafik nilai CO₂ Total dan grafik pH untuk reaktor kontrol dan reaktor penelitian, yaitu:



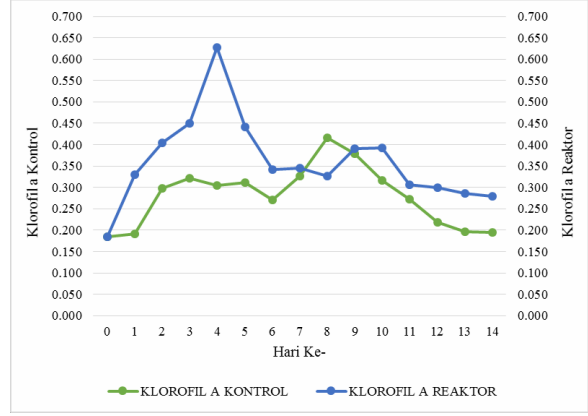
Gambar 1. a Grafik Nilai CO₂ Total Reaktor Kontrol dan Reaktor Penelitian



Gambar 1. b Grafik nilai pH yang terukur untuk reaktor kontrol dan reaktor penelitian

b. Analisis Klorofil a

Berikut ini adalah grafik nilai klorofil a untuk reaktor kontrol dan reaktor penelitian, yaitu:

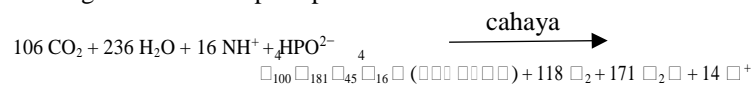


Gambar 1. c Grafik nilai klorofil a untuk reaktor kontrol dan reaktor penelitian

Hasil analisis klorofil a divisualisasikan dalam Gambar 3.3 untuk reaktor kontrol dan reaktor penelitian. Garis warna hijau untuk reaktor kontrol menggambarkan fase pertumbuhan dan perkembangan mikroalga yang relatif stabil sesuai dengan kurva pertumbuhan mikroalga. Nilai klorofil a untuk reaktor penelitian dijelaskan dalam garis warna biru. Variasi penambahan nutrisi memiliki peran dalam pertumbuhan dan perkembangan mikroalga yang ditunjukkan melalui analisis klorofil a mikroalga. Penambahan nutrisi pupuk *Walne* dan vitamin sebesar 3 mL/L kultur memberikan efek pertumbuhan dan perkembangan mikroalga yang lebih cepat. Semakin banyak nutrisi yang diberikan ke media pertumbuhan mikroalga, maka pertumbuhan dan perkembangan mikroalga semakin cepat dengan nilai klorofil a yang semakin besar.

c. Analisis Nilai Karbondioksida (CO₂) Terserap

Penelitian Afiuddin (2013) menjelaskan Perhitungan jumlah karbondioksida (CO₂) yang terserap oleh mikroalga sebesar 1 gram klorofil a setara dengan 1,92 gram CO₂ Terserap didapatkan dari perbandingan stokiometri pada persamaan reaksi fotosintesis di bawah ini :



Tahapan perhitungan CO₂ Terserap, meliputi :

- $\frac{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}}{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}} = \frac{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}}{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}}$
- $\frac{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}}{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}} = \frac{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}}{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}} \times 1920$

Berikut ini contoh perhitungan nilai CO₂ terserap untuk reaktor kontrol pada hari ke-0, yaitu :

- Nilai klorofil a = 0,184 mg/L
- Volume reaktor = 5 L
- $\frac{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}}{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}} = \frac{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}}{\text{Volume reaktor} \times \text{Nilai klorofil a}} \times 1920$

$$\begin{aligned}
 & \text{Pertumbuhan Mikroalga} = 0,921 \text{ mg Klorofil a} \\
 & \text{CO}_2 \text{ Terserap} = \text{CO}_2 \text{ Total} - \text{CO}_2 \text{ Sisa} \\
 & \text{CO}_2 \text{ Terserap} = 3862,418 - 1768,608 = 1768,608 \text{ mg CO}_2
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah perhitungan nilai CO₂ terserap pada reaktor kontrol dan reaktor penelitian, yaitu:

Tabel 1. a Data Perhitungan CO₂ Terserap Reaktor Kontrol

Hari ke-	CO ₂ Total (mg CO ₂)	Pertumbuhan Mikroalga (mg Klorofil a)	CO ₂ Terserap (mg CO ₂)
0	3862.418	0.921	1768.608
1	4081.879	0.955	1832.688
2	3975.311	1.490	2861.172
3	3294.101	1.604	3079.044
4	3031.789	1.522	2922.048
5	3832.209	1.560	2995.740
6	3575.450	1.357	2604.852
7	3261.170	1.634	3136.716
8	4119.607	2.078	3988.980
9	5147.196	1.897	3642.948
10	8701.709	1.585	3043.800
11	8327.439	1.360	2611.260
12	8023.255	1.093	2098.620
13	7946.394	0.983	1887.156
14	7691.559	0.975	1871.136

Tabel 1. b Data Perhitungan CO₂ Terserap Reaktor Penelitian

Hari ke-	CO ₂ Total (mg CO ₂)	Pertumbuhan Mikroalga (mg Klorofil a)	CO ₂ Terserap (mg CO ₂)
0	4046.264	0.924	1775.016
1	4750.729	1.645	3159.144
2	6584.935	2.024	3886.452
3	5537.723	2.248	4315.788
4	6360.539	3.136	6020.316
5	7035.021	2.209	4242.096
6	8088.129	1.707	3277.692
7	8762.138	1.729	3319.344
8	9646.985	1.629	3127.104
9	10335.360	1.956	3755.088
10	9881.851	1.966	3774.312
11	9729.263	1.532	2941.272
12	9580.813	1.499	2877.192
13	9430.330	1.428	2742.624
14	8907.696	1.397	2681.748

Reaktor Penelitian lebih efektif dalam melakukan penyerapan emisi gas CO₂ dari cerobong PLTU Batubara dengan nilai yang cukup besar. Penambahan nutrisi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan mikroalga dalam menyerap emisi gas CO₂ dari cerobong PLTU Batubara. Penambahan nutrisi yang lebih banyak mengakibatkan pertumbuhan mikroalga *Botryococcus braunii* menjadi kurang optimal. Semakin besar jumlah nutrisi yang diberikan pada kultur, semakin tinggi stress yang diberikan kepada mikroalga dalam kultur.

d Perhitungan Nilai CO₂ Sisa

Tahapan terakhir dalam perhitungan CO₂ adalah perhitungan CO₂ sisa. CO₂ sisa merupakan selisih antara CO₂ Total dari hasil analisis alkalinitas dengan CO₂ terserap dari hasil analisis klorofil a mikroalga. Berikut ini adalah persamaan untuk menghitung nilai CO₂ Sisa, adalah :

$$\begin{aligned}
 & \text{CO}_2 \text{ Sisa} = \text{CO}_2 \text{ Total} - \text{CO}_2 \text{ Terserap} \\
 & \% \text{ CO}_2 \text{ Sisa} = \frac{\text{CO}_2 \text{ Sisa}}{\text{CO}_2 \text{ Total}} \times 100 \\
 & \% \text{ CO}_2 \text{ Terserap} = \frac{\text{CO}_2 \text{ Terserap}}{\text{CO}_2 \text{ Total}} \times 100
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai CO₂ sisa untuk reaktor kontrol di hari ke-0, yaitu :

- CO₂ Total = 3862,418 mg CO₂
- CO₂ Terserap = 1768,608 mg CO₂
- CO₂ Sisa
 - $CO_2 \text{ Sisa} = CO_2 \text{ Total} - CO_2 \text{ Terserap}$
 - $CO_2 \text{ Sisa} = 3862,418 - 1768,608$
 - $CO_2 \text{ Sisa} = 2093,810$
- % CO₂ Terserap
 - $\% CO_2 \text{ Terserap} = \frac{CO_2 \text{ Terserap}}{CO_2 \text{ Total}} \times 100$
 - $\% CO_2 \text{ Terserap} = \frac{1768,608}{3862,418} \times 100$
 - $\% CO_2 \text{ Terserap} = 45,790\%$
- % CO₂ Sisa
 - $\% CO_2 \text{ Sisa} = \frac{CO_2 \text{ Sisa}}{CO_2 \text{ Total}} \times 100$
 - $\% CO_2 \text{ Sisa} = \frac{2093,810}{3862,418} \times 100$
 - $\% CO_2 \text{ Sisa} = 54,210\%$

Berikut ini adalah hasil perhitungan CO₂ Sisa untuk reaktor kontrol dan reaktor penelitian, yaitu :

Tabel 1. c Data Hasil Perhitungan CO₂ Sisa

Reaktor Kontrol

Hari ke-	CO ₂ Total (mg CO ₂)	CO ₂ Terserap (mg CO ₂)	CO ₂ Sisa (mg CO ₂)	% CO ₂ Terserap	% CO
0	3862.418	1768.608	2093.810	45.790	54.
1	4081.879	1832.688	2249.191	44.898	55.
2	3975.311	2861.172	1114.139	71.974	28.
3	3294.101	3079.044	215.057	93.471	6.
4	3031.789	2922.048	109.741	96.380	3.
5	3832.209	2995.740	836.469	78.173	21.
6	3575.450	2604.852	970.598	72.854	27.
7	3261.170	3136.716	124.454	96.184	3.
8	4119.607	3988.980	130.627	96.829	3.
9	5147.196	3642.948	1504.248	70.775	29.
10	8701.709	3043.800	5657.909	34.979	65.
11	8327.439	2611.260	5716.179	31.357	68.
12	8023.255	2098.620	5924.635	26.157	73.
13	7946.394	1887.156	6059.238	23.749	76.
14	7691.559	1871.136	5820.423	24.327	75.

Tabel 1. d Data Hasil Perhitungan CO₂ Sisa

Reaktor Penelitian

Hari ke-	CO ₂ Total (mg CO ₂)	CO ₂ Terserap (mg CO ₂)	CO ₂ Sisa (mg CO ₂)	% CO ₂ Terserap	% CO
0	4046.264	1775.016	2271.248	43.868	56.
1	4750.729	3159.144	1591.585	66.498	33.
2	6584.935	3886.452	2698.483	59.020	40.
3	5537.723	4315.788	1221.935	77.934	22.
4	6360.539	6020.316	340.223	94.651	5.
5	7035.021	4242.096	2792.925	60.300	39.
6	8088.129	3277.692	4810.437	40.525	59.
7	8762.138	3319.344	5442.794	37.883	62.
8	9646.985	3127.104	6519.881	32.415	67.
9	10335.360	3755.088	6580.272	36.332	63.
10	9881.851	3774.312	6107.539	38.194	61.
11	9729.263	2941.272	6787.991	30.231	69.
12	9580.813	2877.192	6703.621	30.031	69.
13	9430.330	2742.624	6687.706	29.083	70.
14	8907.696	2681.748	6225.948	30.106	69.

Persentase % CO₂ Sisa rata-rata reaktor kontrol lebih kecil daripada % CO₂ Sisa rata-rata reaktor penelitian. Reaktor kontrol pada penelitian ini lebih efektif dalam melakukan penyerapan CO₂ dari udara di sekitar PLTU Batubara. Reaktor penelitian lebih efektif dalam menyerap CO₂ dari emisi gas buang PLTU Batubara. Nutrisi pupuk *walne* mengandung komponen fosfat dan zat besi yang dapat meningkatkan produktivitas mikroalga. Penelitian Sari (2013), menjelaskan Penambahan vitamin dalam reaktor bertujuan untuk meningkatkan metabolisme mikroalga *Botryococcus braunii*, karena vitamin mikroalga mengandung vitamin B₁ dan vitamin B₁₂ yang dapat meningkatkan metabolisme mikroalga. Semakin banyak nutrisi pupuk *walne* dan vitamin yang ditambahkan ke reaktor, maka kemampuan penyerapan CO₂ oleh mikroalga *Botryococcus braunii* akan semakin efektif.

4. KESIMPULAN

Mikroalga *Botryococcus braunii* mampu menyerap CO₂ dengan efektif dari emisi PLTU Batubara dengan penambahan nutrisi pupuk *Walne* dan vitamin sebesar 3 mL/L kultur. Hasil rata-rata CO₂ Terserap untuk reaktor penelitian dengan *supply* CO₂ dari emisi PLTU Batubara sebesar 3459,679 mg CO₂. Rata-rata nilai CO₂ Terserap untuk reaktor kontrol dengan *supply* CO₂ di sekitar kawasan PLTU Batubara sebesar 2689,651 mg CO₂.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis disampaikan kepada dosen D4. Teknik Pengolahan Limbah PPNS dan pihak pihak terkait yang membantu penelitian ini serta teman teman D4. Teknik Pengolahan Limbah.

6. DAFTAR NOTASI

- A = Volume titran yang dibutuhkan, mL
- N = Nilai normalitas larutan titran
- V₁ = volume ekstrak, L
- V₂ = volume sampel, m³

L = lebar kuvet, cm
664, 665 = hasil pembacaan spektrofotometri

7. DAFTAR PUSTAKA

- Afiuddin, Ahmad Erlan. (2013). *Analisis Kemampuan Alga dalam Menyerap Karbondioksida (CO₂)*. Tesis Program Pascasarjana. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh November.
- American Public Health Association (APHA). American Water Work Association, Water Environment Federation. (2005). *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*, USA.
- Istiyanie, D. (2011). Pemanfaatan Emisi CO₂ dari PLTU Batubara dalam Pengolahan Limbah Cair Domestik Berbasis Mikroalga. *Tesis Program Pascasarjana*, 8-9. Jakarta : Program Pascasarjana Kajian Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia.
- Prayitno, J. (2015). Pola Pertumbuhan dan Pemanenan Biomassa dalam Fotobioreaktor Mikroalga Untuk Penangkapan Karbon. *Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 17*, 46-47.
- Sari, A. M., H. E. Mayasari., Rachimoellah dan S. Zullaikah. (2013). Pertumbuhan dan Kandungan Lipida dari *Botryococcus braunii* dalam Media Air Laut. Surabaya : Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh November.