

Pemanfaatan Air Limbah *Wet Scrubber Flue Gas Desulphurization* (FGD) Industri Kertas sebagai Medium Pertumbuhan *Spirulina platensis*

Isni Nur Khairunnissa^{1*}, Prima Besty Asthary², Saepulloh², Rahmaniari Mulyani¹

¹Universitas Jenderal Achmad Yani, Jl. Terusan Jenderal Sudirman, Cimahi, Indonesia

²Balai Besar Pulp dan Kertas, Jl. Raya Dayeuhkolot No. 132, Bandung, Indonesia

Diterima : 21 Juli 2018, Revisi akhir : 27 Desember 2018, Disetujui terbit : 27 Desember 2018

Utilization of Wet Scrubber Wastewater from Flue Gas Desuphurization (FGD) of Paper Industry as a Growth Medium for *Spirulina platensis*

Abstract

The flue gas desulphurization (FGD) with wet scrubber is a process to reduce the concentration of SO_x of the flue gas from combustion. This process can resolve the air pollution by reducing gas emission and the dust particles in the liquid droplets to produce cleaner flue gas. The wet scrubber wastewater is acidic. An alternative utilization of wet scrubber wastewater is for cultivation of microalgae. *Spirulina platensis* is bluish-green microalgae containing high nutritional value. The objective of this research is to determine the potential and the optimum concentration of wastewater from wet scrubber as growth medium of *Spirulina platensis*. The research method was observation in the laboratory with a completely randomized design (CRD) with 5 treatments and 5 repetitions. The wastewater from wet scrubber with a concentration of 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, and 100 % was used as growth medium of *S. platensis*. During cultivation, pH, biomass production, and pigment phycocyanin were measured. The results indicated that the wastewater of wet scrubber can be utilized as a growth medium of *S. platensis*. The optimum concentration for the growth of *S. platensis* is the mixture of 75% of the wastewater from wet scrubber and 25% of medium Zarrouk.

Keywords : wastewater, flue gas desulphurization, wet scrubber, *Spirulina platensis*

Abstrak

Proses *flue gas desulphurization* (FGD) dengan *wet scrubber* adalah suatu proses untuk menurunkan konsentrasi SO_x gas buang hasil pembakaran. Proses ini dapat mengatasi polusi udara dengan cara menurunkan emisi gas dan partikel debu sehingga menghasilkan gas buangan yang lebih bersih. Air limbah *wet scrubber* bersifat asam. Salah satu alternatif pemanfaatan air limbah *wet scrubber* adalah untuk budidaya mikroalga. *Spirulina platensis* merupakan mikroalga yang berwarna hijau kebiruan yang mempunyai nilai gizi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi air limbah *wet scrubber* sebagai medium pertumbuhan *S. platensis* dan untuk mengetahui konsentrasi air limbah yang optimum bagi pertumbuhan *S. platensis*. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan dan 5 ulangan. Air limbah *wet scrubber* dengan konsentrasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% digunakan sebagai medium pertumbuhan *S. platensis*. Selama kultivasi, dilakukan pengamatan pH, produksi biomassa, dan kandungan fikosianin. Hasil menunjukkan bahwa air limbah *wet scrubber* dapat dimanfaatkan sebagai medium pertumbuhan *S. platensis*. Konsentrasi optimum bagi pertumbuhan *S. platensis* adalah campuran dari 75% air limbah *wet scrubber* dan 25% medium Zarrouk.

Kata kunci : air limbah, *flue gas desulphurization*, *wet scrubber*, *Spirulina platensis*

Pendahuluan

Perkembangan yang pesat saat ini, khususnya dalam bidang industri yang menggunakan bahan bakar fosil, menyebabkan udara di atmosfer yang kita hirup menjadi tercemar oleh gas-gas yang dihasilkan dari pembakaran. Komponen yang berpengaruh terhadap pencemaran udara, yaitu CO, CO₂, NO₂, SO₂, dan partikulat (Budiyono 2001; Setiawan, Surachman, Asthary, & . (2014). Akibat yang ditimbulkan dari pencemaran udara ini sangat merugikan baik terhadap kesehatan manusia, maupun terhadap lingkungan. Contohnya antara lain meningkatnya kadar CO₂ di atmosfer mengakibatkan kenaikan suhu bumi dan pemanasan global. Selain itu, peningkatan NO₂ dan SO₂ di atmosfer dapat mengakibatkan hujan asam (Budiyono, 2001; Erni & Yatim, 2007).

Salah satu upaya yang dilakukan industri untuk mengendalikan pencemaran udara yang berbahaya ini adalah dengan menggunakan sistem *Flue Gas Desulphurization* (FGD) jenis *wet scrubber*. FGD adalah suatu cara untuk menurunkan konsentrasi SO_x pada gas buang hasil pembakaran dengan caramengikat SO₂ dalam gas buang di cerobong asap dengan absorben yang disebut *scrubbing* (Mayasari, 2013). Salah satu tipe FGD adalah sistem *wet scrubber* membuang partikel polutan dengan cara menangkapnya dalam tetesan atau butiran cairan sehingga dapat menghasilkan gas buang yang lebih bersih (Sunardi *et al.*, 2013). Sistem *wet scrubber* memiliki efisiensi tinggi dan dapat menghasilkan produk gipsum dengan kualitas tinggi (Mayasari, 2013). Dalam sistem *wet scrubber*, kandungan SO_x dan NO_x dapat menyebabkan air limbah bersifat asam sehingga perlu dikelola dengan baik (Zakaria, 2018). Pengelolaan air limbah tersebut sebaiknya dilakukan dengan sistem tersendiri karena akan mengganggu kehidupan mikroorganisme dalam air (Kusnoputranto, 1985).

Salah satu alternatif pengelolaan air limbah tersebut adalah dengan memanfaatkannya untuk budidaya mikroalga karena kandungan zat organik dan anorganik di dalamnya (Hadiyanto & Azim, 2012). Toleransi mikroalga terhadap gas-gas tersebut sangat bervariasi tergantung spesiesnya. Menurut Kumar, *et al* (2011) *Spirulina platensis* adalah salah satu mikroalga yang toleran terhadap gas SO_x, NO_x, dan gas CO₂ dengan konsentrasi < 12%. *S. platensis* mudah dibudidayakan karena memiliki tingkat

reproduksi yang tinggi dan mudah beradaptasi pada berbagai lingkungan (Promya, *et al.*, 2008). Di Indonesia, *S. platensis* dikembangkan dan diproduksi secara komersial sebagai suplemen makanan yang aman dikonsumsi oleh manusia (Soni, 2010). Selain mudah dicerna, mikroalga ini mengandung senyawa-senyawa yang diperlukan oleh tubuh, seperti protein, lipid, karbohidrat, asam lemak tidak jenuh, vitamin-vitamin, mineral, asam amino, dan beberapa jenis pigmen yang sangat bermanfaat.

Salahsatu kendala yang dihadapi pada budidaya *S. platensis* adalah biaya yang mahal untuk medium yang baik dan mendukung pertumbuhan *S. platensis* (Setyaningsih & Saputra, 2011). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi air limbah proses FGD *wet scrubber* untuk kultivasi *S. platensis* sehingga dapat mengurangi beban Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam mengolah air limbah tersebut dan mengurangi biaya media kultur *S. platensis*.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Balai Besar Pulp dan Kertas, Bandung. Bibit mikroalga *S. platensis* diperoleh dari Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI, Cibinong. Air limbah proses FGD sistem *wet scrubber* sebagai media pertumbuhan *S. platensis* diperoleh dari industri kertas dandikarakterisasi di Balai Besar Pulp dan Kertas dengan parameter yang disajikan pada **Tabel 1**.

S. platensis dipelihara dan diperbanyak dalam dalam medium Zarrouk dengan komposisi NaHCO₃ 16,8 g/L, NaNO₃ 2,5 g/L, K₂SO₄ 1 g/L, NaCl 1 g/L, K₂HPO₄ 0,5 g/L, Na₂EDTA 0,08 g/L, CaCl₂ 0,04 g/L, FeSO₄·7H₂O 0,01 g/L, MgSO₄ 0,2 g/L (Chang, Wu, Bian, Feng, & Leung, 2013) serta diaerasi. Kultur *S. platensis* dibiakkan pada temperatur 30 ± 1° (Feng, Wu, & Wang, 2007) dengan intensitas cahaya berkisar antara 1500-3000 lux (Mahmoud, Ibrahim, & Ali, 2016; Uday Bhaskar, Gopalswamy, & Raghu, 2005)..

Kultur *S. platensis* ditambahkan ke dalam botol percobaan yang telah berisi medium pertumbuhan. Perbandingan kultur *S. platensis* dan medium Zarrouk adalah 1:4. Air limbah *wet scrubber* ditambahkan ke dalam campuran kultur *S. platensis* dan medium Zarrouk dengan variasi konsentrasi seperti pada **Tabel 2**. Kultur *S. platensis* yang digunakan memiliki pH awal sekitar 9. Kultivasi *S. platensis* dilakukan di

Tabel 1. Parameter Uji Karakteristik Air Limbah *Wet Scrubber*

Parameter	Metode Uji
Total nitrogen	SNI 06-6989.52-2005
Padatan tersuspensi	SNI 698.3-2004
Derajat keasaman (pH)	SNI 06-6989.11-2004
<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	SNI 6989.72-2009
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	SNI 6989.73-2009
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	SNI 6989.20-2009.

Tabel 2. Variasi Konsentrasi Medium Zarrouk dan Air Limbah *Wet Scrubber*

Kode Perlakuan	Komposisi (% v/v)	
	Air Limbah <i>Wet Scrubber</i>	Medium Zarrouk
A	0	100
B	25	75
C	50	50
D	75	25
E	100	0

Laboratorium Toksikologi dengan pemberian cahaya dari lampu neon dengan intensitas cahaya 4000 lux. Pada variasi 0% tanpa penambahan air limbah *wet scrubber* bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan air limbah *wet scrubber* terhadap pertumbuhan *S. platensis*.

Percobaan ini dilakukan selama 9 hari dan pengamatan dilakukan setiap 24 jam sekali terhadap pH, kerapatan optik, dan kandungan fikosianin mikroalga. Pengukuran nilai pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter, sedangkan nilai kerapatan optik diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang (λ) 680 nm (Borowitzka, Michael, & Lesly, 1988). Pengamatan uji fikosianin pada *S. platensis* dilakukan dengan metode beku-cair (*freeze-thaw*) secara berulang-ulang dan konsentrasi fikosianin ditentukan dengan menggunakan alat spektrofotometer. Sampel *S. platensis* dipisahkan biomasanya dengan cara sentrifugasi. Biomassa yang telah diperoleh kemudian ditambahkan dengan buffer fosfat pH 7 dan dibekukan pada suhu 0°C selama 24 jam. Setelah dibekukan, biomassa dengan filtrat dipisahkan kembali dengan cara sentrifugasi. Filtrat yang berwarna kebiruan dipisahkan dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada λ 615 nm yang merupakan panjang

gelombang maksimum (λ_{max}) untuk fikosianin dan pada λ 652 nm yang merupakan panjang gelombang maksimum (λ_{max}) untuk alkosianin. Untuk mendapatkan nilai fikosianin dilakukan perhitungan pada Persamaan (1) (Ajayan *et al.*, 2012).

$$(PC) = \frac{\{A_{615} - (0.474 \times A_{652})\}}{5.34} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- PC : Kadar fikosianin
- A615 : Nilai absorbansi pada panjang gelombang (λ) 615 nm
- A652 : Nilai absorbansi pada panjang gelombang (λ) 652 nm

Data biomassa dan kandungan fikosianin yang diperoleh selama penelitian dianalisis secara statistik dengan ANOVA, dilanjutkan dengan uji jarak Duncan dengan derajat kepercayaan 0,05 untuk mengetahui perbedaan di antara semua perlakuan.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Air Limbah *Wet Scrubber*

Berdasarkan hasil pengamatan secara fisik terhadap air limbah *wet scrubber* terlihat bahwa air berwarna bening kecoklatan sehingga penetrasi cahaya masih memungkinkan terjadi dan proses fotosintesis pada *S. platensis* tidak akan terhambat (Sumiarsa, *et.al.*, 2011). Menurut Fogg (1975), cahaya merupakan sumber energi yang diperlukan dalam proses fotosintesis, serta jumlah energi yang diterima bergantung pada kualitas, kuantitas, dan periode penyinaran. Hasil analisis karakteristik air limbah *wet scrubber* ditunjukkan pada **Tabel 3**. Hasil uji COD dan BOD menunjukkan hasil yang cukup rendah dan pH air limbah *wet scrubber* bersifat asam. Mayasari (2013) menyatakan penyebab air limbah *wet scrubber* bersifat asam adalah hasil reaksi dari gas SO₂ dalam gas buang dengan cairan penyerap yang membentuk H₂SO₄ yang terjadi di dalam seperti persamaan reaksi 1 dan 2.



Air limbah *wet scrubber* masih mengandung nitrogen (N) walaupun rendah, yaitu sebesar 2,74

Tabel 3. Karakteristik Air Limbah *Wet Scrubber*

Parameter	Satuan	Hasil Uji
Derajat keasaman (pH)	-	4,3
Padatan tersuspensi	mg/L	43
Total nitrogen	mg/L	2,74
BOD	mg/L	14
COD	mg/L	23
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	84,9

mg/L. Nitrogen pada pertumbuhan *S. platensis* sangat diperlukan sebagai sintesis asam amino penyusun protein.

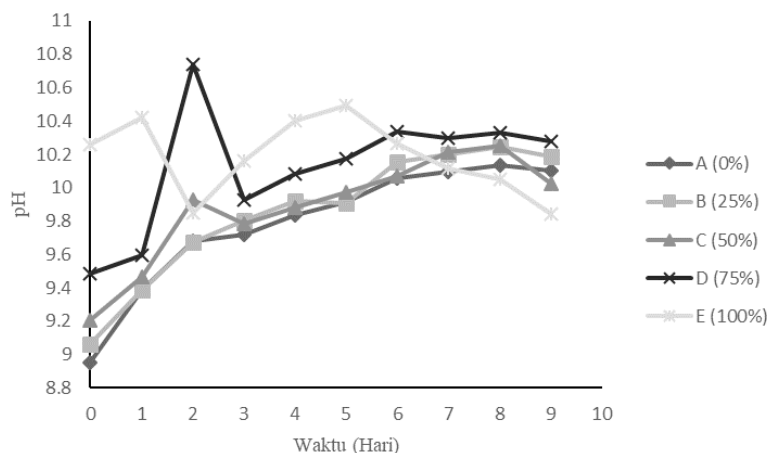
S. platensis dapat toleran terhadap gas SO_x, NO_x dan CO₂ dengan konsentrasi < 12% (Kumar *et al.*, 2011). Sementara itu, air limbah yang digunakan pada percobaan ini mengandung SO_x yang rendah, yaitu sebesar 84,9 mg/L setara dengan 0,00849% (kurang dari 12%) sehingga *S. platensis* dapat tumbuh baik dan kurang berpengaruh pada penurunan pH yang drastis. Matsumoto, *et.al* (1997) menyatakan bahwa ketika konsentrasi SO₂ mencapai 400 ppm, maka pH media dapat menjadi lebih rendah dari 4 setelah beberapa hari sehingga akan mempengaruhi produktivitas mikroalga.

Pengaruh Variasi Penambahan Air Limbah *Wet Scrubber* Terhadap Pertumbuhan *Spirulina platensis*

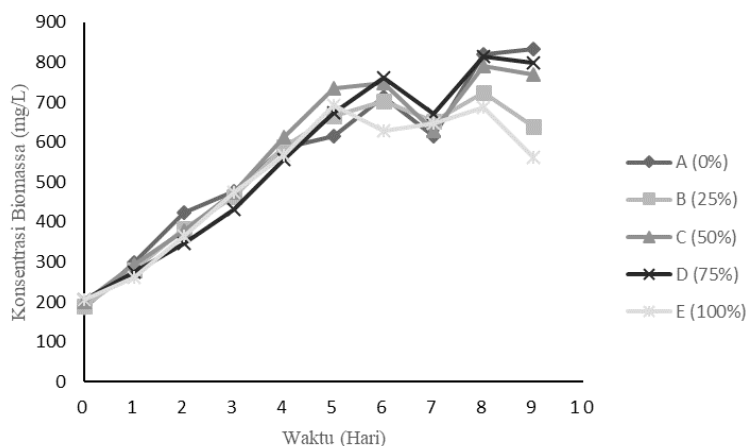
Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap nilai derajat keasaman (pH) untuk

mengetahui pengaruh penambahan air limbah *wet scrubber* sebagai medium *S. platensis* terhadap pH *S. platensis*. Suminto (2009) mengatakan bahwa pengontrolan pH medium sangat penting untuk menjaga keseimbangan *S. platensis*. Menurut Habib, *et al* (2008), nilai pH yang baik bagi *S. platensis* pada kisaran 8,3-11. **Gambar 1** menunjukkan bahwa pada semua perlakuan memiliki nilai pH berkisar antara 8.9-10,7 yang masih dalam kisaran normal untuk pertumbuhan *S. platensis*.

Berdasarkan **Gambar 1**, pada hari ke-2 hingga hari ke-8 kultur *S. platensis* pada semua perlakuan cenderung mengalami peningkatan nilai pH kecuali pada perlakuan E (air limbah *wet scrubber* 100%). Kenaikan nilai pH pada suatu media kultur berbanding lurus dengan penambahan bikarbonat yang dapat menghasilkan karbon dioksida untuk digunakan dalam proses fotosintesis (Borowitzka *et al.*, 1988). Suantika & Hendrawandi (2009) menyatakan bahwa reaksi yang terjadi ketika CO₂ bereaksi dengan air adalah terbentuknya asam karbonat (H₂CO₃) yang akan berdisosiasi menjadi karbonat (CO₃²⁻) dan ion bikarbonat (HCO₃⁻). Proses pembentukan karbon dioksida (CO₂) dari bikarbonat itu terjadi ketika asimilasi pada gas CO₂ reaksi akan bergeser kearah kanan, karena HCO₃⁻ akan berubah menjadi CO₂. CO₂ yang terbentuk akan menggantikan CO₂ bebas yang telah diserap oleh *S. platensis* (Persamaan 4).



Gambar 1. pH Pertumbuhan *Spirulina platensis*



Gambar 2. Biomassa *Spirulina platensis*

Penurunan pH terjadi pada hari ke-9 pada semua perlakuan, namun pada perlakuan E terjadi pada hari ke-6. Hal ini dikarenakan pada perlakuan E media yang digunakan adalah hanya air limbah *wet scrubber* 100% sehingga ketersediaan nutrisi pada medium tersebut lebih sedikit dibandingkan dengan perlakuan lainnya yang masih mengandung medium Zarrouk. Selanjutnya, laju pertumbuhan *S. platensis* pada perlakuan E akan cepat mengalami penurunan.

Biomassa *S. platensis* pada medium air limbah *wet scrubber* dengan konsentrasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% disajikan pada Gambar 2. Dapat terlihat bahwa terjadi pertumbuhan *S. platensis* yang ditandai dengan peningkatan biomassa hingga hari ke-7. Pada fase lag diduga terjadi begitu singkat sehingga tidak dapat digambarkan. Selanjutnya, pada hari ke-7 terlihat bahwa pertumbuhan *S. platensis* mengalami penurunan biomassa dan mengalami kenaikan kembali dan mengalami keadaan puncak atau sel memasuki fase eksponensial pada hari ke-8. Pada fase ini, pertumbuhan dan aktivitas sel dalam keadaan maksimum yaitu sel terus bereproduksi yang didukung oleh nutrisi, pH, dan intensitas cahaya pada medium yang masih dapat memenuhi kebutuhan fisiologis *S. platensis*. Hal ini diperkirakan masih ada nutrisi yang tersimpan pada medium sehingga *S. platensis* mampu hidup kembali. Kultur *S. platensis* mengalami penurunan jumlah biomassa dan memasuki fase kematian pada hari ke-9. Penurunan jumlah biomassa sel dapat diakibatkan oleh ketersediaan nutrisi yang semakin menipis dan akumulasi metabolit (NO_2^- dan NH_4^+) yang menghambat pertumbuhan *S. platensis*

(Suantika & Hendrawandi, 2009). Lavens & Sorgeloos (1996) menyatakan bahwa kematian sel dapat disebabkan oleh mulai berkurangnya nutrisi yang tersedia sehingga tidak mampu mendukung pertumbuhan sel. Akibatnya, laju kematian sel lebih besar dibandingkan dengan laju pertumbuhan sel.

Hasil yang diperoleh selama penelitian dianalisis dengan menggunakan uji analisis varian (ANOVA). Data harian diperoleh selama penelitian pengaruh air limbah proses FGD sistem *wet scrubber* terhadap pertumbuhan biomassa yang diperoleh dengan menggunakan analisis varian (ANOVA). Hasil analisis uji ANOVA yang disajikan pada Tabel 4 menunjukkan hasil $p > 0,05$ yang berarti biomassa tidak berpengaruh secara nyata terhadap pertumbuhan *S. platensis* yang dikultur menggunakan air limbah proses FGD sistem *wet scrubber* ini.

Pada kelima variasi konsentrasi biomassa yang dihasilkan mencapai titik puncak, yaitu pada hari ke-8 dengan biomassa tertinggi pada perlakuan A sebanyak 819,41 mg/L sedangkan biomassa terendah diperoleh pada perlakuan E sebanyak 687,96 mg/L. Hasil biomassa dalam percobaan cukup tinggi dibandingkan dengan penelitian Asthary (2013) dengan penambahan medium dari efluen industri kertas memperoleh biomassa tertinggi sebesar 395 mg/L. Hasil analisis statistika data biomassa pada hari ke-8 pada Tabel 4 menunjukkan bahwa biomassa yang dihasilkan pada perlakuan B, C, dan D tidak berbeda nyata dengan biomassa pada perlakuan A (kontrol), dimana perlakuan D memiliki nilai biomassa paling mendekati perlakuan A. Sementara itu, biomassa perlakuan E berbeda

Tabel 4. Konsentrasi Biomassa *Spirulina platensis*

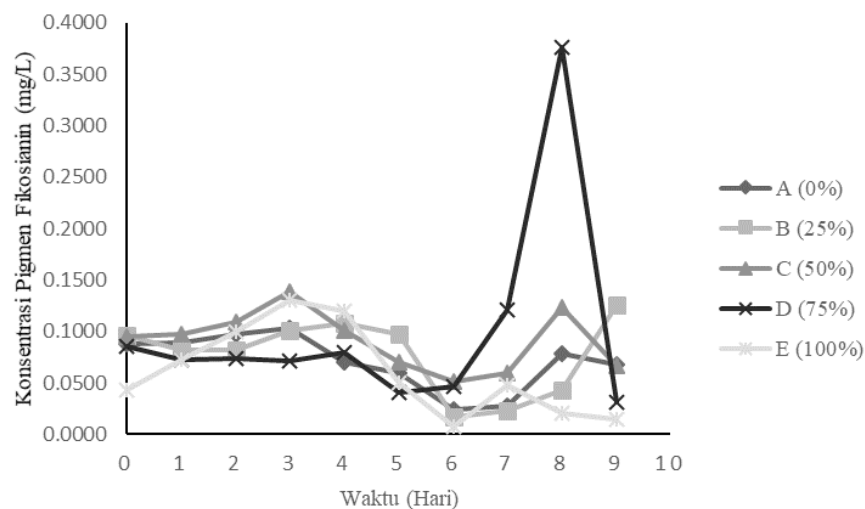
Perlakuan	Konsentrasi Biomassa <i>Spirulina platensis</i> (mg/L)									
	Hari ke-									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A (0%)	184.59 ^a	299.75 ^b	422.55 ^b	476.26 ^a	585.59 ^a	615.18 ^a	713.91 ^{ab}	614.14 ^a	819.41 ^b	833.97 ^a
B (25%)	190.85 ^{ab}	279.63 ^{ab}	383.35 ^{ab}	464.05 ^a	587.76 ^a	665.24 ^a	703.22 ^{ab}	652.64 ^a	725.55 ^{ab}	639.57 ^a
C (50%)	201.06 ^{ab}	292.92 ^{ab}	377.62 ^{ab}	474.69 ^a	612.05 ^a	734.33 ^a	748.41 ^b	628.00 ^a	791.12 ^{ab}	769.27 ^a
D (75%)	206.67 ^b	274.15 ^{ab}	345.85 ^a	433.06 ^a	557.04 ^a	674.97 ^a	762.01 ^b	670.84 ^a	813.46 ^b	799.16 ^a
E (100%)	205.62 ^b	260.81 ^a	365.27 ^{ab}	473.17 ^a	567.55 ^a	692.92 ^a	628.82 ^a	647.29 ^a	687.96 ^a	563.03 ^a

Keterangan : Huruf yang berbeda setiap kolomnya menyatakan berbeda nyata ($p < 0,05$)

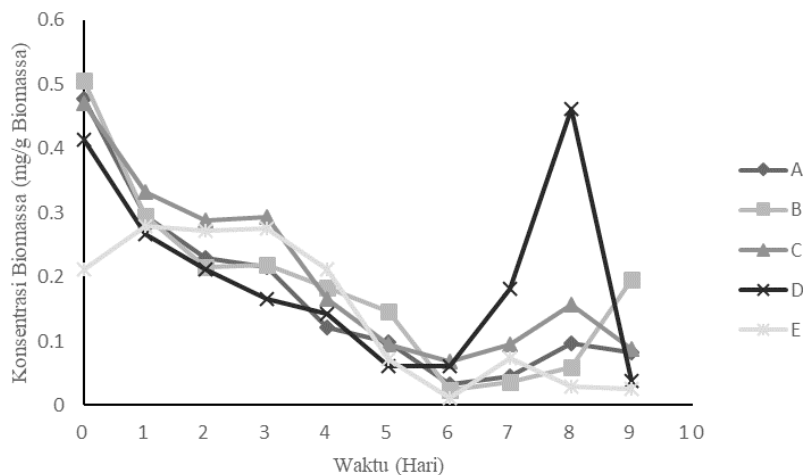
nyata dengan biomassa perlakuan A di mana nilai rata-rata konsentrasi biomassa perlakuan E lebih rendah daripada biomassa perlakuan A. Hal-hal tersebut dapat diartikan bahwa penambahan air limbah *wet scrubber* hingga 75% v/v tidak menunjukkan efek negatif terhadap pertumbuhan *S. platensis*, sedangkan penggunaan air limbah *wet scrubber* 100% dapat menurunkan konsentrasi biomassa *S. platensis*.

Fikosianin merupakan pigmen yang penting dari mikroalga *S. platensis* dan merupakan protein kompleks yang mengandung lebih dari 20% dari seluruh berat keringnya. Kandungan fikosianin dalam *S. platensis* dapat juga berpengaruh terhadap kualitas *S. platensis*. Kandungan fikosianin pada *S. platensis* selama percobaan disajikan pada **Gambar 3**. Konsentrasi pigmen fikosianin mengalami pola kenaikan konsentrasi biomassa fikosianin antara konsentrasi A (0%), B (25%), C (50%), dan E (100%) memiliki konsentrasi yang cenderung hampir sama kecuali

pada konsentrasi D konsentrasi fikosianin mengalami kenaikan yang cukup drastis pada hari ke-8. Hal ini diperkirakan dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi yang terkandung dalam medium pertumbuhan *S. platensis*. Faktor yang mempengaruhi kandungan fikosianin, yaitu kandungan nitrogen dan cahaya. Menurut hasil penelitian Eriksen (2008), kandungan fikosianin dipengaruhi oleh konsentrasi sumber nitrogen yang tersedia pada kultur dimana kandungan fikosianin yang maksimum terdapat pada saat kandungan nitrogen dalam media kultur hampir habis dan turun secara drastis setelah sumber nitrogen tidak ada lagi pada media kultur. Hal ini disebabkan fikosianin memiliki peran dalam pembentukan nitrogen pada saat medium kultur kekurangan nitrogen fikosianin akan terdegradasi dan menjadi sumber nitrogen bagi kultur *S. platensis* (Boussiba & Richmond, 1980). Pada hari ke-8, kandungan pigmen fikosianin tertinggi pada perlakuan D sebanyak 0,3760 mg/L sedangkan kandungan pigmen



Gambar 3. Kandungan Fikosianin *Spirulina platensis*



Gambar 4. Kandungan Fikosianin per gram Biomassa *Spirulina platensis*

fikosianin terendah pada perlakuan E sebanyak 0,0206 mg/L. Penurunan kandungan fikosianin pada *S. platensis* terjadi karena kandungan fikosianin per satuan massa semakin berkurang seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.

Penurunan kandungan fikosianin pada kultur *S. platensis* ini dapat menjadi salah satu indikator penurunan kualitas *S. platensis* sehingga dapat dijadikan dasar penentuan waktu panen *S. platensis*. Kandungan fikosianin menurun pada hari ke-.... Sehingga waktu panen ditentukan pada hari ke-8. Hasil analisis varian (ANOVA) dan uji jarak Duncan terhadap kandungan pigmen fikosianin *S. platensis* pada hari ke-8 yang dikultur menggunakan air limbah *wet scrubber* FGD ditampilkan pada **Tabel 5**. Hasil menunjukkan bahwa variasi penambahan air limbah memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap kandungan fikosianin. Penambahan air limbah *wet scrubber* 75% v/v (perlakuan D) menunjukkan perbedaan yang signifikan

dibandingkan dengan perlakuan lain. Oleh karena itu, perlakuan ini merupakan konsentrasi terbaik untuk meningkatkan kandungan pigmen fikosianin *S.platensis*.

Kesimpulan

Air limbah proses FGD sistem *wet scrubber* ini berpotensi sebagai medium pertumbuhan *S. platensis*. Media yang optimum bagi pertumbuhan *S. platensis* adalah campuran 75% air limbah *wet scrubber* proses FGD dan 25% medium Zarrouk dengan biomassa yang dihasilkan sebesar 813,46 mg/L pada hari ke-8. Hasil ini tidak berbeda nyata dengan biomassa kultur *S.platensis* menggunakan medium Zarrouk 100% (kontrol), yaitu sebesar 819,41 mg/L.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terhadap seluruh karyawan Balai Besar Pulp dan Kertas khususnya bidang Sarana Riset dan Standardisasi atas kerjasama dan bantuannya dalam penyusunan materi ini.

Daftar Pustaka

Ajayan, K. V, Selvaraju, M., & Thirugnanamoorthy, K. (2012). Enrichment of chlorophyll and phycobiliproteins in *Spirulina platensis* by the use of reflector light and nitrogen sources : An in-vitro study. *Biomass and Bioenergy*, 47, 436–441. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.012>

Tabel 5. Kandungan Fikosianin *Spirulina platensis* Pada Hari ke-8

Perlakuan	Kandungan Fikosianin (mg/L)
A (0%)	0.0534 ^a
B (25%)	0.0263 ^a
C (50%)	0.0895 ^a
D (75%)	0.2885 ^b
E (100%)	0.0152 ^a

Keterangan : Huruf yang berbeda menyatakan berbeda nyata ($p < 0,05$)

- Asthary, P. B., Setiawan, Y., Surachman, A., & Perindustrian, K. (2013). Pertumbuhan Mikroalga *Spirulina platensis* dalam Efluen Industri Kertas. *Jurnal Selulosa*, 3(2), 97–102.
- Borowitzka, Michael, A., & Lesly, B. J. (1988). *Micro-algal Biotechnology*. Cambridge University Press.
- Boussiba, S., & Richmond, A. E. (1980). C-Phycocyanin as a Storage Protein in the Blue-Green Alga *Spirulina platensis* Samy. *Archives of Microbiology*, 147, 143–147.
- Budiyono, A. (2001). Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. *Dirgantara*, 2(1), 21–27. <https://doi.org/10.1038/srep02598>
- Chang, Y., Wu, Z., Bian, L., Feng, D., & Leung, D. Y. C. (2013). Cultivation of *Spirulina platensis* for biomass production and nutrient removal from synthetic human urine. *Applied Energy*, 102, 427–431. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.07.024>
- Eriksen, N. T. (2008). Production of phycocyanin— a pigment with applications in biology , biotechnology , foods and medicine. *Microbiol Bioetchnol*, 80(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1542-y>
- Erni, & Yatim, M. (2007). Dampak dan Pengendalian Hujan Asam. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, II(1), 146–151.
- Feng, D., Wu, Z., & Wang, D. (2007). Effects of N source and nitrification pretreatment on growth of *Arthrospira platensis* in human urine. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 8(11), 1846–1852. <https://doi.org/10.1631/jzus.2007.A1846>
- Fogg, G. (1975). *Algal cultures and phytoplankton ecology*. University of Wisconsin Press.
- Habib, B., Parvin, M., Huntington, T. C., & Hasan, M. R. (2008). *A Review on Culture, Production, and Use of Spirulina platensis as Food for Humans and Feeds for Domestic Animal and Fish. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1034*.
- Hadiyanto, & Azim, M. (2012). *Mikroalga Sumber Pangan & Energi Masa Depan*. Semarang: UPT UNDIP Press.
- Kumar, K., Dasgupta, C. N., Nayak, B., Lindblad, P., & Das, D. (2011). Development of suitable photobioreactors for CO₂ sequestration addressing global warming using green algae and cyanobacteria. *Bioresource Technology*, 102(8), 4945–4953. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.01.054>
- Kusnoputranto, H. (1985). *Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Lavens, P., & Sorgeloos, P. (1996). *Manual on the production and use of live food for aquaculture*.
- Mahmoud, R., Ibrahim, M., & Ali, G. (2016). Closed photobioreactor for microalgae biomass production under indoor growth conditions, 7(1), 86–92.
- Matsumoto, H., Hamasaki, A., Sioji, N., & Ikuta, Y. (1997). Influence of CO₂, SO₂, and NO in Flue Gas on Microalgae Productivity. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 30(4), 620–624.
- Mayasari, F. (2013). Analisis Perhitungan Eksternalitas pada PLTU Muara Karang dengan Penggunaan Flue Gas Desulphurization. *Jurnal Ristek*, 2(1), 38–42.
- Promya, J., Traichaiyaporn, S., & Deming, R. (2008). Phytoremediation of kitchen wastewater by *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geiteler: pigment content, production variable cost and nutritional value. *Journal of Science and Technology and Nutritional Value*, 2(3), 159–171.
- Setiawan, Y., Surachman, A., Asthary, P. B., & Saepulloh, S. (2014). Pemanfaatan emisi gas CO₂ untuk budidaya *Spirulina platensis* dalam upaya penurunan Gas Rumah Kaca (GRK). *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 8(2).
- Setyaningsih, I., & Saputra, A. T. (2011). Chemical Composition and Pigment Content of *Spirulina fusiformis* on the Different Harvesting Age in Fertilized Media. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, XIV(1), 63–69.
- Soni, A. F. N. (2010). Budidaya Masal *Spirulina platensis* di Perairan Laut Jepara. *Prosiding Simposium Nasional Bioteknologi, Bogor: Dep*.
- Suantika, G., & Hendrawandi. (2009). Efektivitas Teknik Kultur menggunakan Sistem Kultur Statis, Semi-kontinyu, dan Kontinyu terhadap Produktivitas dan Kualitas Kultur *Spirulina sp.* *Matematika Dan Sains*, 14(2), 41–50.
- Sumiarsa, D., Jatnika, R., Kurnani, T. B. A., & Lewaro, M. W. (2011). Perbaikan Kualitas Limbah Cair Peternakan Sapi perah. *Akuatika*, II(September), 93.
- Suminto. (2009). Penggunaan Jenis Media Kultur Teknis terhadap Produksi dan Kandungan Nutrisi Sel *Spirulina platensis*. *Jurnal Saintek Perikanan*, 4(2), 53–61.
- Sunardi, A. F., Ir, D., Dhofir, M., Soemarwanto, I., Elektro, T., Elektro, T., ... Udara, A. P. P. (2013). Perancangan dan Pembuatan Model Miniatur. *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 1(1), 1–6.

- Uday Bhaskar, S., Gopaldaswamy, G., & Raghu, R. (2005). A simple method for efficient extraction and purification of C-phycoyanin from *Spirulina platensis* Geitler. *Indian Journal of Experimental Biology*, 43(3), 277–279. <https://doi.org/10.1023/A:1008914405302>
- Zakaria, T. (2018). Penerapan Flue Gas Dual Treatment pada Emisi Gas Buang Ketel Uap Bubling Fluideized Bed Boiler di PT. DDD. *InTent*, 1(1), 13–23.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -