

# Pengaruh Konsentrasi Substrat terhadap Laju Pertumbuhan Alga dan Bakteri Heterotropik pada Sistem HRAR

Wahyu Dian Septiani, Agus Slamet, dan Joni Hermana

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: hermana@enviro.its.ac.id

**Abstrak**— Air limbah domestik Kota Surabaya yang dibuang langsung ke badan air tanpa dilakukan pengolahan akan mengakibatkan pencemaran karena memiliki kandungan nutrisi dan bahan organik yang tinggi. High Rate Algae Reactor (HRAR) merupakan sistem pengolahan limbah dengan memanfaatkan alga dan sesuai untuk pengolahan limbah domestik. Perencanaan sistem HRAR dapat dilakukan dengan pendekatan berdasarkan parameter koefisien biokinetik alga maupun bakteri heterotropik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi substrat terhadap laju pertumbuhan alga dan bakteri heterotropik pada air limbah domestik berdasarkan koefisien biokinetiknya ( $\mu$ ,  $Y$ , dan  $K_s$ ). Penelitian dilakukan dengan menggunakan variabel konsentrasi substrat dan lama durasi pencahayaan. Sampel yang digunakan merupakan air Boezem Kalidami dengan glukosa sebagai substrat tambahan. Pengambilan sampel dilakukan satu kali dalam sehari dan dilakukan setiap hari selama penelitian berlangsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi substrat berpengaruh terhadap laju pertumbuhan alga dan bakteri heterotropik. Semakin tinggi konsentrasi substrat maka laju pertumbuhan semakin tinggi. Reaktor dengan kondisi awal substrat sebesar 800 mg/L dan durasi pencahayaan selama 12 jam memiliki laju pertumbuhan spesifik terbaik. Nilai koefisien biokinetik tertinggi untuk alga adalah  $\mu$  sebesar 0,624/hari,  $K_s$  sebesar 311,2 mg/L, dan  $Y$  sebesar 0,533 mg biomassa/mg substrat. Sedangkan nilai koefisien biokinetik tertinggi untuk bakteri adalah  $\mu$  sebesar 0,395/hari,  $K_s$  sebesar 384 mg/L, dan  $Y$  sebesar 0,857 mg biomassa/mg substrat.

**Kata Kunci**— bakteri heterotropik, HRAR, koefisien biokinetik, limbah domestik.

## I. PENDAHULUAN

**P**ENCEMARAN lingkungan yang diakibatkan oleh limbah domestik menjadi salah satu permasalahan penting di Indonesia. Hal tersebut karena limbah domestik memiliki kandungan pencemar dan nutrisi yang tinggi. Selain itu, air limbah domestik yang dibuang langsung ke badan air tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu akan menyebabkan berbagai macam permasalahan dan mempengaruhi kualitas badan air. Boezem Kalidami sebagai salah satu badan air penerima limbah domestik di Kota Surabaya memiliki kandungan COD sebesar 122 mg/L, ammonia ( $\text{NH}_3^+$ ) sebesar 20 mg/L dan fosfat sebesar 4 mg/L [1]. Kandungan pada Boezem Kalidami tersebut telah melebihi baku mutu yang diterapkan pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001. Oleh karena itu, perlu dilakukan

pengolahan terhadap limbah domestik yang terdapat pada Boezem Kalidami.

Pengolahan air limbah dengan kandungan nutrisi yang tinggi dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah dengan menggunakan sistem alga [2]. High Rate Algae Reactor (HRAR) merupakan sistem pengolahan limbah dan penurunan nutrisi berdasarkan hubungan simbiosis antara alga dan bakteri heterotropik yang tinggal dalam suatu kolam [3]. HRAR dengan sistem batch terbukti dapat menurunkan konsentrasi nitrogen sebesar 81,65% dari konsentrasi awal 53,3 mg/L dan fosfat sebesar 66,75% dari konsentrasi awal 13,3 mg/L [1]. Sistem HRAR juga merupakan teknologi yang membutuhkan biaya rendah dan pemeliharaan yang mudah untuk mengolah limbah domestik [4].

Perencanaan sistem HRAR dapat dilakukan dengan pendekatan berdasarkan parameter koefisien biokinetik alga maupun bakteri heterotropik. Nilai koefisien biokinetik sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan karakteristik air limbah. Namun, karakteristik air limbah domestik sangat berfluktuasi tergantung pada kegiatan di sumbernya. Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian mengenai pengaruh perubahan kualitas air limbah khususnya konsentrasi zat organik terhadap nilai koefisien biokinetik pada sistem HRAR. Sehingga akan diketahui pengaruh konsentrasi bahan organik sebagai substrat terhadap laju pertumbuhan alga dan bakteri heterotropik. Parameter yang diuji meliputi COD, MLSS, klorofil-a, intensitas cahaya, DO, pH, dan suhu. Sedangkan variabel penelitian yang digunakan adalah konsentrasi substrat dan durasi pencahayaan.

## II. METODA PENELITIAN

Pada awal penelitian dilakukan persiapan terhadap alat dan bahan yang akan digunakan selama penelitian. Alat dan bahan yang dipersiapkan termasuk alat dan bahan untuk analisa di laboratorium seperti analisa COD, MLSS, klorofil-a. Selain itu pada tahap dilakukan pula pembuatan reaktor yang akan digunakan selama penelitian.

Reaktor yang digunakan pada penelitian ini merupakan reaktor dengan sistem batch. Reaktor berupa *sealware* dengan kapasitas 24 liter. Selama penelitian, digunakan 8 buah reaktor dengan variasi konsentrasi substrat dan durasi pencahayaan. Variabel pertama adalah konsentrasi awal substrat yaitu 250 mg/L, 450 mg/L, dan 800 mg/L. Sedangkan variasi durasi pencahayaan adalah 12 jam dan 24 jam. Untuk variasi

pencahayaan selama 24 jam menggunakan cahaya matahari selama 12 jam dan lampu buatan dengan daya 36 watt selama 12 jam. Selain itu terdapat 2 buah reaktor kontrol dengan perlakuan variasi durasi pencahayaan namun tanpa penambahan gula sebagai substrat. Reaktor juga dilengkapi dengan pompa untuk mixing selama 24 jam agar tidak terjadi pengendapan dan kinerja reaktor dapat lebih optimal.

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis karakteristik awal dari air Boezem Kalidami. Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap parameter COD, Total N, dan Ortophospat. Analisis tersebut bertujuan untuk mengetahui kandungan awal dari sampel sebelum dicampur dengan kultur alga. Kandungan COD pada Air Boezem Kalidami sebesar 134,4 mg/L, kandungan Total N sebesar 19,48 mg/L, dan kandungan  $PO_4$  sebesar 1,99 mg/L.

Setelah itu dilakukan seeding kultur alga yang akan digunakan. Tahap seeding dilakukan dengan membiakkan bibit alga yang berasal dari saluran drainase Kota Surabaya yang telah dikembangkan di Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Tahap ini dilakukan selama 7 hari dengan perlakuan mixing selama 24 jam. Selama seeding berlangsung dilakukan penambahan gula dan urea untuk mencukupi kebutuhan nutrisi agar sesuai dengan rasio C:N:P. Rasio C:N:P untuk pertumbuhan alga adalah 106:16:1 [5].

Seeding bertujuan untuk memperoleh konsentrasi alga yang diinginkan untuk penelitian. Konsentrasi klorofil-a pada akhir tahap seeding adalah 21,92 mg/L. Konsentrasi tersebut telah memenuhi konsentrasi klorofil-a awal untuk reaktor sistem batch yaitu antara 0,22-1,3 mg/L [6].

Kultur alga hasil seeding kemudian akan melalui tahap aklimatisasi. Tahap aklimatisasi bertujuan untuk menyesuaikan kondisi alga hasil seeding dengan air limbah Boezem Kalidami. Tahap ini dilakukan dengan mencampur alga hasil seeding dengan air Boezem Kalidami dengan perbandingan 2:3. Tahap aklimatisasi dilakukan selama 7 hari dengan perlakuan mixing selama 24 jam. Pada akhir tahap aklimatisasi dilakukan analisis terhadap kandungan COD pada campuran alga dan air Boezem Kalidami. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai acuan untuk penambahan gula sebagai variasi dalam pelaksanaan penelitian.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi terhadap konsentrasi awal substrat dan durasi pencahayaan. Variasi konsentrasi awal substrat dilakukan dengan menambahkan gula sebagai substrat pada campuran alga dan air Boezem Kalidami. Jumlah gula yang ditambahkan dihitung berdasarkan hasil analisis pada tahap aklimatisasi dan disesuaikan dengan variasi konsentrasi substrat yang diinginkan yaitu 250 mg/L, 450 mg/L dan 800 mg/L. Sedangkan untuk variabel durasi pencahayaan dilakukan selama 12 jam dan 24 jam.

Pelaksanaan penelitian dilakukan 2 tahap, yaitu tahap dengan penambahan air Boezem Kalidami dan tanpa penambahan air Boezem Kalidami. Kedua tahap penelitian dilakukan selama 8 hingga 14 hari. Pengambilan sampel untuk analisis COD, MLSS, dan klorofil-a dilakukan satu kali setiap hari pada pukul 08.00 pagi selama penelitian. Analisis COD dilakukan menggunakan metode *Closed Reflux, Titimetric Method*. Sedangkan analisis MLSS menggunakan metode

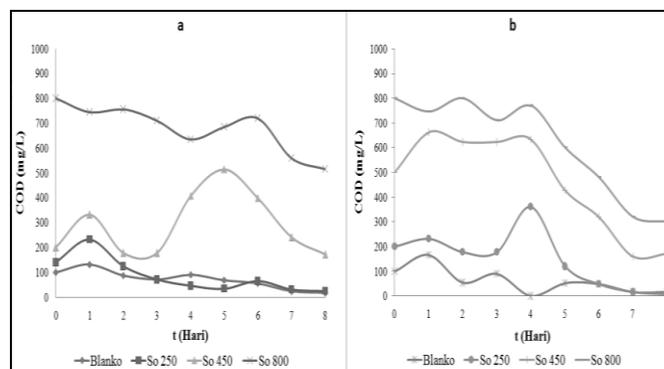
*Total Suspended Solid Dried 103-105° C* dan analisis klorofil-a menggunakan metode *Spectrophotometric Determination of Chlorophyll* [7].

Data-data hasil penelitian akan dianalisis dan dikorelasikan dengan teori yang ada. Selain itu, data hasil analisis COD, MLSS dan klorofil-a juga akan dijadikan dasar dalam penentuan koefisien biokinetik alga dan bakteri heterotropik. Setelah dilakukan analisis data, maka akan ditarik kesimpulan dari penelitian.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Kinerja HRAR pada Penyisihan COD

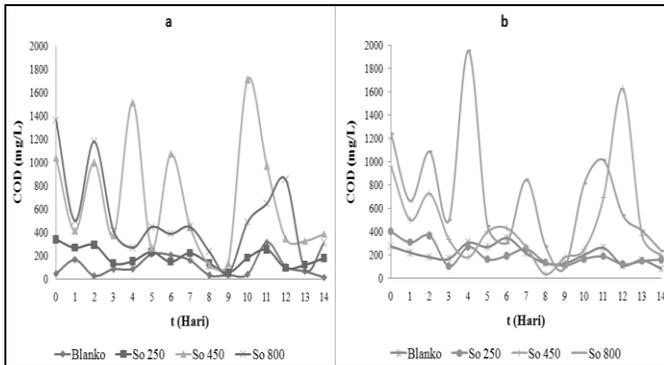
Pada penelitian ini konsentrasi COD menunjukkan kandungan bahan organik atau substrat yang terdapat pada reaktor. Pada kondisi dengan penambahan air Boezem Kalidami, nilai COD selama masa penelitian mengalami penurunan. Konsentrasi COD pada awal penelitian berkisar antara 100-800 mg/L, sedangkan pada akhir penelitian berkisar antara 8,6-514 mg/L. Hal yang sama terjadi pada kondisi tanpa penambahan air Boezem Kalidami, dimana konsentrasi COD juga mengalami penurunan. Namun konsentrasi COD pada kondisi tanpa penambahan air Boezem Kalidami lebih fluktuatif apabila dibandingkan dengan adanya penambahan air Boezem Kalidami. Peningkatan konsentrasi COD pada pertengahan analisis dikarenakan adanya *lysis* (pecahnya sel mikroorganisme). Pada saat terjadi *lysis*, bahan organik yang terdapat di dalam sel mikroorganisme akan terukur sebagai COD [8]. Sehingga konsentrasi COD pada pertengahan penelitian dapat meningkat kemudian mengalami penurunan kembali menyebabkan fluktuasi konsentrasi COD. Grafik hasil analisis COD selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar. 1. Konsentrasi COD dengan Penambahan Air Limbah (a) Durasi Pencahayaan 12 Jam (b) Durasi Pencahayaan 24 Jam

Penurunan konsentrasi COD yang terjadi pada reaktor dengan penambahan dan tanpa penambahan air Boezem Kalidami disebabkan oleh adanya aktivitas bakteri. Nilai COD pada penelitian ini mewakili kadar bahan organik yang terdapat dalam reaktor. Bahan organik atau substrat yang terdapat dalam reaktor digunakan oleh bakteri untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Bahan organik merupakan sumber karbon metabolisme mikroorganisme [9].

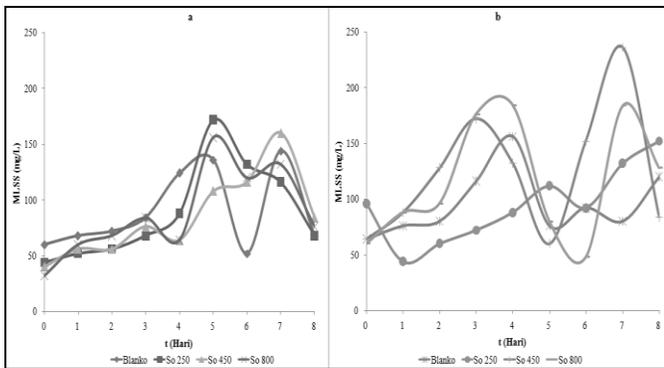
Penurunan konsentrasi COD lebih tinggi terjadi pada kondisi dengan penambahan air limbah Boezem Kalidami. Hal ini kemungkinan terjadi karena adanya pengaruh dari kandungan yang terdapat pada limbah baik itu kondisi mikroorganisme maupun nutrisi di dalamnya.



Gambar. 2. Konsentrasi COD tanpa Penambahan Air Limbah (a) Durasi Pencahayaan 12 Jam (b) Durasi Pencahayaan 24 Jam

**B. Pengaruh Konsentrasi Substrat terhadap MLSS**

Pada penelitian ini, nilai MLSS merepresentasikan konsentrasi biomassa alga dan bakteri heterotropik yang terdapat di dalam reaktor. Pada kondisi dengan penambahan air limbah Boezem Kalidami, konsentrasi MLSS mengalami peningkatan hingga akhir penelitian. Konsentrasi MLSS pada akhir penelitian berkisar antara 68-152 mg/L. Grafik konsentrasi MLSS selama penelitian dengan penambahan air limbah Boezem Kalidami dapat dilihat pada Gambar 3.

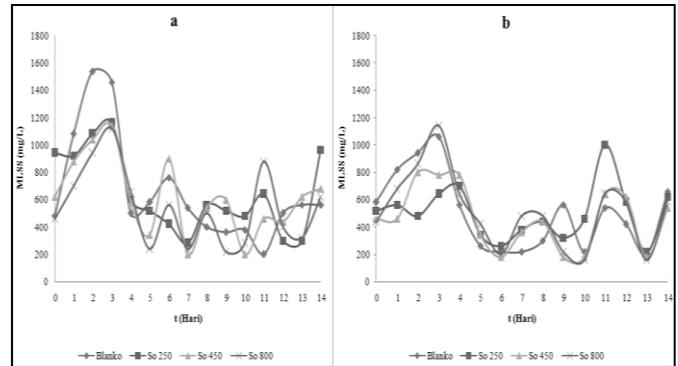


Gambar. 3. Konsentrasi MLSS dengan Penambahan Air Limbah (a) Durasi Pencahayaan 12 Jam (b) Durasi Pencahayaan 24 Jam

Peningkatan konsentrasi MLSS juga terjadi pada kondisi tanpa penambahan air limbah Boezem Kalidami. Namun konsentrasi MLSS selama penelitian lebih fluktuatif apabila dibandingkan pada kondisi dengan penambahan air limbah Boezem Kalidami. Konsentrasi MLSS pada akhir masa penelitian berkisar antara 540-965 mg/L. Grafik konsentrasi MLSS pada kondisi tanpa penambahan air limbah dapat dilihat pada Gambar 4.

Peningkatan nilai MLSS dipengaruhi oleh banyaknya bahan organik yang dioksidasi [9]. Bahan organik dioksidasi oleh mikroorganisme untuk menghasilkan energi yang nantinya energi tersebut digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Sehingga, semakin banyak jumlah substrat atau bahan organik yang dioksidasi menyebabkan makin

meningkat pula konsentrasi MLSS yang terdapat pada reaktor. Selain itu, konsentrasi MLSS juga dipengaruhi oleh konsentrasi klorofil a. Nilai MLSS terdiri dari konsentrasi alga, bakteri, serta komponen-komponen yang tidak terdapat [10]. Oleh karena itu, nilai MLSS bergantung pada konsentrasi alga dan bakteri dalam reaktor.

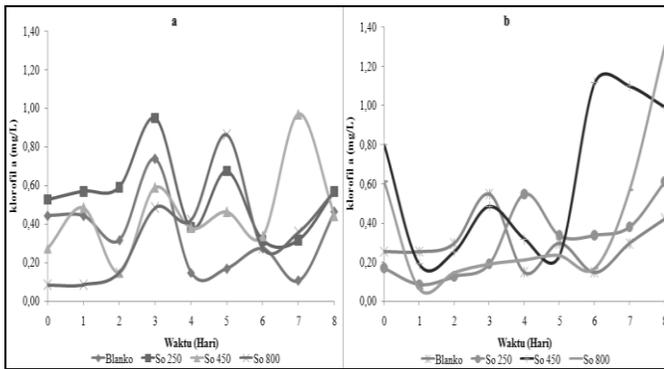


Gambar. 4. Konsentrasi MLSS tanpa Penambahan Air Limbah (a) Durasi Pencahayaan 12 Jam (b) Durasi Pencahayaan 24 Jam

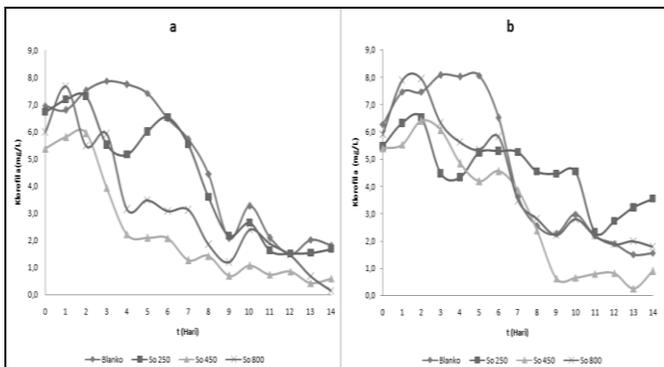
**C. Pengaruh Konsentrasi Substrat terhadap Klorofil-a**

Klorofil adalah pigmen pemberi warna hijau pada tumbuhan, alga dan bakteri fotosintetik. Sehingga pada penelitian ini konsentrasi klorofil-a digunakan untuk menggambarkan jumlah alga yang terdapat pada reaktor. Pada kondisi dengan penambahan air limbah, konsentrasi klorofil-a mengalami peningkatan pada semua reaktor. Peningkatan konsentrasi klorofil-a ini disebabkan adanya aktivitas bakteri dalam menggunakan substrat. Bakteri mengoksidasi limbah organik yang masuk untuk memproduksi karbon dioksida, amonia, fosfat. Karbon dioksida yang dihasilkan oleh bakteri kemudian digunakan oleh alga untuk melakukan fotosintesis [11]. Oleh karena itu, peningkatan konsentrasi bakteri akan menyebabkan peningkatan konsentrasi alga yang ditandai dengan peningkatan nilai klorofil-a. Grafik konsentrasi klorofil-a pada kondisi dengan penambahan air limbah Boezem Kalidami dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada kondisi tanpa penambahan air limbah, konsentrasi klorofil-a mengalami peningkatan hingga hari ke 3 penelitian. Namun setelah itu terjadi penurunan konsentrasi klorofil-a hingga akhir penelitian pada semua reaktor. Penurunan nilai klorofil-a ini disebabkan kurangnya ketersediaan nutrisi pada media tumbuh. Sebab ketersediaan nutrisi bergantung pada penambahan urea pada awal penelitian. Nutrien sendiri merupakan salah satu faktor yang penting dalam pertumbuhan alga. Nutrien merupakan substansi yang digunakan untuk biosintesis dan pengeluaran energi untuk menunjang pertumbuhan. Apabila nutrisi yang dibutuhkan tidak tercukupi, maka sel yang akan dikulturkan tidak bisa tumbuh optimal, sehingga tidak bisa memaksimalkan pertumbuhan suatu sel [12]. Grafik konsentrasi klorofil-a pada kondisi tanpa penambahan air limbah dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar. 5. Konsentrasi Klorofil-a dengan Penambahan Air Limbah (a) Durasi Pencahayaan 12 Jam (b) Durasi Pencahayaan 24 Jam



Gambar. 6. Konsentrasi Klorofil-a tanpa Penambahan Air Limbah (a) Durasi Pencahayaan 12 Jam (b) Durasi Pencahayaan 24 Jam

**D. Penentuan Koefisien Biokinetik**

Pada penelitian ini akan ditentukan nilai koefisien biokinetik bagi alga dan juga bakteri heterotropik untuk mengetahui laju pertumbuhannya. Koefisien biokinetik yang akan ditentukan adalah  $\mu$ ,  $K_s$ ,  $\mu_{max}$  dan  $Y$ . Penentuan koefisien biokinetik pada penelitian ini didasarkan pada persamaan Monod. Model persamaan Monod dapat digunakan dengan baik untuk kultur campuran antara alga dan bakteri heterotrof pada kondisi karbon organik yang bermacam-macam [9]. Persamaan Monod dapat dilihat pada (1).

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S} \tag{1}$$

dengan  $\mu$  adalah laju pertumbuhan spesifik ( $hari^{-1}$ ),  $\mu_{max}$  adalah laju pertumbuhan maksimum ( $hari^{-1}$ ),  $S$  merupakan konsentrasi substrat (mg/L) dan  $K_s$  adalah konsentrasi kejenuhan bahan organik (mg/L).

Penentuan koefisien biokinetik pada penelitian ini dilakukan secara bertahap. Penentuan koefisien biokinetik yang pertama adalah  $\mu$ . Nilai  $\mu$  merupakan nilai laju pertumbuhan spesifik pada fase eksponensial. Nilai koefisien  $\mu$  menunjukkan kecepatan pertumbuhan mikroorganisme [13]. Laju pertumbuhan eksponensial dapat didefinisikan sebagai (2).

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \tag{2}$$

dengan  $X$  adalah konsentrasi biomassa (mg/L). Apabila nilai  $\mu$  konstan, maka integrasi dari persamaan di atas akan menjadi persamaan sebagai berikut:

$$\ln X = \mu \cdot t + \ln X_0 \tag{3}$$

Dengan  $X_0$  merupakan konsentrasi biomassa (mg/L) saat  $t=0$ . Nilai  $\mu$  merupakan slope dari hubungan  $\ln X$  terhadap waktu.

Pada penelitian ini, fase eksponensial rata-rata terjadi hingga hari ke 3, sehingga perhitungan  $\mu$  berdasarkan data analisis hingga hari ke 3. Selain itu, nilai  $X$  dalam penelitian ini adalah jumlah biomassa yang dihasilkan dimana dalam penelitian ini dibagi menjadi biomassa total, biomassa bakteri heterotropik dan biomassa alga yang dikonversi dari nilai klorofil-a. Hal tersebut agar dapat diketahui secara spesifik laju pertumbuhan untuk alga dan bakteri heterotropik. Hasil perhitungan nilai  $\mu$  untuk semua reaktor dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1.

Nilai  $\mu$  pada kondisi dengan penambahan air limbah

Reaktor	$\mu$	$\mu$ Alga	$\mu$ Bakteri
Pencahayaannya 12 Jam			
Blanko	0,105	0,182	0,257
So 250	0,134	0,204	0,318
So 450	0,152	0,238	0,372
So 800	0,168	0,624	0,395
Pencahayaannya 24 Jam			
Blanko	0,211	0,386	0,147
So 250	0,246	0,431	0,214
So 450	0,335	0,463	0,309
So 800	0,346	0,575	0,332

Tabel 2.

Nilai  $\mu$  pada kondisi tanpa penambahan air limbah

Reaktor	$\mu$	$\mu$ Alga	$\mu$ Bakteri
Pencahayaannya 12 Jam			
Blanko	0,15	0,038	0,2
So 250	0,115	0,04	0,294
So 450	0,129	0,05	0,228
So 800	0,235	0,128	0,678
Pencahayaannya 24 Jam			
Blanko	0,155	0,087	0,445
So 250	0,066	0,089	0,455
So 450	0,264	0,084	0,714
So 800	0,258	0,148	0,776

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, nilai  $\mu$  semakin besar seiring dengan meningkatnya konsentrasi substrat yang ditambahkan. Semakin besarnya nilai  $\mu$  mengindikasikan semakin tingginya laju pertumbuhan mikroorganisme. Besarnya nilai  $\mu$  ini terjadi baik untuk alga maupun bakteri. Hal ini menunjukkan bahwa adanya simbiosis yang baik antara alga dan bakteri, sehingga pertumbuhannya dapat berjalan baik secara bersamaan. Nilai  $\mu$  yang rendah menunjukkan pertumbuhan mikroorganisme yang lambat. Nilai  $\mu$  merupakan salah satu indikator tingkat biodegradabilitas proses pengolahan air limbah [14].

Koefisien biokinetik selanjutnya adalah  $K_s$  dan  $\mu_{max}$  yang didapatkan dengan melinierisasikan (1) menjadi (4).

$$\frac{1}{\mu} = \frac{K_s}{\mu_{max}} \cdot \frac{1}{S} + \frac{1}{\mu_{max}} \tag{4}$$

Perhitungan nilai  $K_s$  dan  $\mu_{max}$  berdasarkan pada biomassa total, biomassa alga dan biomassa bakteri. Nilai tersebut didapatkan dengan membuat grafik hubungan antara  $1/\mu$  dan  $1/S$ , kemudian slope dari grafik tersebut merupakan nilai  $K_s/\mu_{max}$ . Hasil perhitungan nilai  $K_s$  dan  $\mu_{max}$  untuk semua reaktor dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Nilai  $\mu_{max}$  merupakan laju pertumbuhan maksimum. Sedangkan variabel biokinetik  $K_s$  menunjukkan kepekaan konsentrasi substrat yang peka terhadap pertumbuhan biomassa. Apabila nilai  $K_s$  besar berarti rentang konsentrasi substrat yang peka terhadap pertumbuhannya besar. Konsentrasi di atas  $K_s$  menunjukkan kecenderungan yang kurang peka terhadap pertumbuhan biomassa [15].

Tabel 3.  
Nilai  $K_s$  dan  $\mu_{max}$  biomassa total

Reaktor	Dengan Penambahan Air Limbah		Tanpa Penambahan Air Limbah	
	$K_s$	$\mu_{max}$	$K_s$	$\mu_{max}$
Pencahayaannya 12 Jam				
Blanko	117,64	0,20	50,96	0,17
So 250				
So 450				
So 800				
Pencahayaannya 24 Jam				
Blanko	164,76	0,42	550,49	0,35
So 250				
So 450				
So 800				

Tabel 4.  
Nilai  $K_s$  dan  $\mu_{max}$  biomassa alga

Reaktor	Dengan Penambahan Air Limbah		Tanpa Penambahan Air Limbah	
	$K_s$	$\mu_{max}$	$K_s$	$\mu_{max}$
Pencahayaannya 12 Jam				
Blanko	311,21	0,70	30,70	0,06
So 250				
So 450				
So 800				
Pencahayaannya 24 Jam				
Blanko	80,08	0,57	113,25	0,12
So 250				
So 450				
So 800				

Tabel 5.  
Nilai  $K_s$  dan  $\mu_{max}$  biomassa bakteri

Reaktor	Dengan Penambahan Air Limbah		Tanpa Penambahan Air Limbah	
	$K_s$	$\mu_{max}$	$K_s$	$\mu_{max}$
Pencahayaannya 12 Jam				
Blanko	71,61	0,46	398,71	0,68
So 250				
So 450				
So 800				
Pencahayaannya 24 Jam				
Blanko	384,09	0,51	411,72	1,22
So 250				
So 450				
So 800				

Koefisien Yield ( $Y$ ) menunjukkan banyaknya bahan organik yang dikonversi menjadi sel-sel baru. Nilai  $Y$

merupakan rasio jumlah produksi biomassa dan jumlah substrat yang digunakan [13]. Koefisien  $Y$  dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{1}{\bar{X}} \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{Y}{\bar{X}} \frac{\Delta S}{\Delta t} - K_e \tag{5}$$

Pada kondisi dengan penambahan air limbah, semakin tinggi konsentrasi substrat maka nilai koefisien  $Y$  juga semakin tinggi. Nilai  $Y$  yang tinggi menunjukkan kandungan bahan organik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme juga tinggi [9]. Kandungan nutrisi yang cukup dengan penambahan air limbah menyebabkan kultur alga dan bakteri tumbuh dengan baik, sehingga mendukung proses degradasi bahan organik. Hasil penentuan koefisien  $Y$  dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6.  
Nilai  $Y$  dengan penambahan air limbah

Reaktor	$Y$	$Y$ Alga	$Y$ Bakteri
Pencahayaannya 12 Jam			
Blanko	0,046	0,316	0,244
COD 250	0,036	0,395	0,076
COD 450	0,040	0,230	0,204
COD 800	0,043	0,152	0,253
Pencahayaannya 24 Jam			
Blanko	0,086	0,054	0,069
COD 250	0,052	0,018	0,049
COD 450	0,117	0,045	0,108
COD 800	0,119	0,017	0,124

Tabel 7.  
Nilai  $Y$  tanpa penambahan air limbah

Reaktor	$Y$	$Y$ Alga	$Y$ Bakteri
Pencahayaannya 12 Jam			
Blanko	0,381	0,533	0,857
COD 250	0,312	0,516	0,676
COD 450	0,303	0,417	0,698
COD 800	0,273	0,505	0,501
Pencahayaannya 24 Jam			
Blanko	0,194	0,046	0,660
COD 250	0,120	0,040	0,286
COD 450	0,124	0,040	0,278
COD 800	0,182	0,046	0,521

Pada kondisi tanpa penambahan air limbah, semakin tinggi konsentrasi awal substrat maka nilai koefisien  $Y$  semakin kecil. Nilai  $Y$  yang tinggi tidak selalu mengindikasikan tingkat degradabilitas yang lebih baik karena ada faktor lain yang mengontrol kinetika biodegradasi, antara lain aktivitas enzim dan konsentrasi awal substrat [14]. Pada kondisi tanpa penambahan air limbah, kondisi kultur alga dan bakteri kekurangan nutrisi. Kondisi kekurangan nutrisi tersebut akan menyebabkan aktivitas alga dan bakteri heterotropik dalam mendegradasi bahan organik terganggu. Sehingga secara tidak langsung juga akan mempengaruhi nilai koefisien yield ( $Y$ ).

#### IV. KESIMPULAN

Penambahan konsentrasi substrat berpengaruh terhadap laju pertumbuhan alga dan bakteri heterotropik pada sistem

HRAR. Reaktor dengan kondisi awal substrat sebesar 800 mg/L dan pencahayaan 12 Jam memiliki laju pertumbuhan spesifik terbaik dengan nilai  $\mu_{alga}$  sebesar 0,624/hari dan  $\mu_{bakteri}$  sebesar 0,395/hari.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Bapak Prof. Ir. Joni Hermana, MScES, Ph.D selaku wali dan dosen pembimbing tugas akhir atas ilmu, nasihat dan bimbingannya. Bapak Ir. Agus Slamet, MSc selaku co-pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan sarannya. Ibu Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D, Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D dan Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST, MPhil, Ph.D., selaku dosen penguji tugas akhir atas segala masukan dan saran yang diberikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardhanareswari, S.A. 2011. *Pengaruh Durasi Pencahayaan dan Kedalaman pada High Rate Algae Reactor (HRAR) terhadap Penurunan Nitrogen dan Fosfat Limbah Perkotaan*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- [2] Cahayanti, I.M. 2013. *Pengaruh Konsentrasi Nutrien, pH dan Salinitas terhadap Laju Pertumbuhan Alga*. Tesis. Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- [3] El Hamouri, B., Jellal, J., Belkhadir, R., Moundib, R., Berrada, R. and Rhallabi, N. 1992. "Interactions Between Algae And Bacteria During Wastewater Treatment In A HRAP". *First Asia-Pacific Conference on Algal Biotechnology*.
- [4] Godos, I. 2010. "Influence Of Flue Gas Sparging On The Performance Of High Rate Algae Ponds Treating Agro-Industrial Wastewaters". *Journal of Hazardous Materials*. Vol 179. 1049–1054.
- [5] Baird, M. E and Jason H. M. 2004. "On Relating Physical Limits to The Carbon: Nitrogen Ratio of Unicellular Algae and Benthic Plants". *Journal of Marine System*. Vol 49. 169-175.
- [6] Fallowfield, H.J., Martin, J., Cromar, N. J. (2010). "Performance of a Batch-Fed High Rate Algae Pond for Animal Waste Treatment". *Agricultural Wastes*. Vol 15 (4). 235-252.
- [7] APHA. 2005. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 21st Edition*. APHA, AWWA. Washington DC.
- [8] Iswara, A.P. 2011. *Pengaruh Aerasi dan Pencahayaan Alami Pada Kemampuan HRAR Dalam Penurunan Bahan Organik Limbah Domestik Perkotaan*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- [9] Isnadina, D.R. 2013. *Pengaruh Konsentrasi Zat Organik, pH dan Salinitas terhadap Laju Pertumbuhan Alga*. Tesis. Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- [10] Afifah, A.S. 2013. *Pengaruh Aerasi dan Konsentrasi Substrat Pada Laju Pertumbuhan Alga Menggunakan Sistem Bioreaktor Proses Batch*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Surabaya.
- [11] Puskas, K. dan Esen, I. 1994. "Production And Separation Of Algae In A High Rate Ponds System". *Environment International*. Vol 20 (4). 541-549.
- [12] Isaac dan Jennings, D. 1995. *Microbial Culture*. Oxford, U.K.
- [13] Metcalf dan Eddy. 2003. *Wastewater Engineering*. Mc.Graw Hill. New York.
- [14] Pirbazari, M., Varadarajan, R., Badri, N., dan Kim, S.H. 1996. "Hybrid Membrane-Filtration Process for Leachate Treatment". *Water Resource*. Vol 11. 2691–2706.
- [15] Grady, C.P.L., Jr. dan Lim, H.L. 1980. *Biological Wastewater Treatment, Theory and Applications*. Marcell Dekker, Inc., New York.