



TUGAS AKHIR - RE 184804

**KAJIAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA UPAYA
PENERAPAN BOEZEM KALIDAMI SEBAGAI
PRETREATMENT AIR LIMBAH DOMESTIK DI
SURABAYA**

DANDA PRASNA SATWIKA
03211240000046

DOSEN PEMBIMBING
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RE 184804

**KAJIAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA
UPAYA PENERAPAN BOEZEM KALIDAMI
SEBAGAI *PRETREATMENT* AIR LIMBAH
DOMESTIK DI SURABAYA**

DANDA PRASNA SATWIKA
0321124000046

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - RE 184804

**STUDY OF GREENHOUSE GAS EMISSION ON
PURPOSE OF USING KALIDAMI BOEZEM AS
PRETREATMENT OF DOMESTIC
WASTEWATER IN SURABAYA**

DANDA PRASNA SATWIKA
0321124000046

Advisor
Bieby Vojant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

"Kajian Emisi Gas Rumah Kaca pada Upaya Penerapan
Boezem Kalidami sebagai *Pretreatment* Air Limbah Domestik
di Surabaya"

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Teknik Lingkungan
Program Studi S-1 Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disusun oleh:

Danda Prasna Satwika
NRP. 0321124000046

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Bieby Voijsant Tangahu, ST., MT., PhD.

NIP. 19710818 199703 2 001



Kajian Emisi Gas Rumah Kaca pada Upaya Penerapan Boezem Kalidami sebagai *Pretreatment* Air Limbah Domestik di Surabaya

Nama Mahasiswa : Danda Prasna Satwika
NRP : 0321 12 4000 0046
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

ABSTRAK

Kolam retensi air hujan atau boezem selain sebagai pengendali banjir juga berpotensi sebagai unit *pretreatment* air limbah domestik berupa kolam stabilisasi fakultatif-anaerobik. Salah satu boezem yang berperan penting melayani Surabaya bagian timur adalah Boezem Kalidami (pintu air Kalidami). Boezem Kalidami dengan kedalaman 2 - 4 meter berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) yaitu metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) dalam jumlah cukup besar.

Penelitian ini mencari besarnya potensi emisi CO₂ dan CH₄ untuk pertimbangan penerapan Boezem Kalidami sebagai unit *pretreatment* air limbah domestik. Pengukuran lapangan dan uji sampel air dilakukan selama 5 hari berturut-turut pada saat pergantian dari musim kemarau ke musim penghujan. Prediksi potensi emisi CO₂ dan CH₄ menggunakan pendekatan stoikiometri terhadap hasil uji sampel air Boezem Kalidami menggunakan metode *Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies* tahun 2010 oleh US EPA. Prediksi emisi menggunakan 2 skenario reduksi. Skenario pertama yaitu dengan pemanfaatan potensi alga alami boezem pada kondisi eksisting didapatkan 192,466 ton CO₂/tahun dan 75,820 ton CH₄/tahun. Sedangkan skenario kedua yaitu dengan perencanaan periode pengerukan didapatkan emisi sebesar 195,102 ton CO₂/tahun dan 75,820 ton CH₄/tahun.

Pada upaya reduksi CO₂ skenario pertama dengan memanfaatkan alga yang tumbuh alami di boezem, didapatkan laju serapan CO₂ (fiksasi) sebesar 10,33 kg/hari dan reduksi CO₂ sebesar 1,96% per hari. Sedangkan upaya reduksi CH₄ pada skenario kedua dengan merencanakan periode pengerukan lumpur didapatkan reduksi sebesar 13,7% per tahun pada periode

pengerukan lumpur tiap 50 hari sekali dengan kebutuhan 124 ritasi truk berkapasitas 6m³ pada setiap pengerukan.

Kata kunci : air limbah domestik, emisi, karbon dioksida, kolam stabilisasi, metana, reduksi.

Study of Greenhouse Gas Emission on Purpose of Using Kalidami Boezem as Pretreatment of Domestic Wastewater in Surabaya

Student Name : Danda Prasna Satwika
Student ID (NRP) : 0321 12 4000 0046
Department : Environmental Engineering
Advisor : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

ABSTRACT

Retention pond or boezem can be used as both flood control and *pretreatment* unit for domestic wastewater. Boezem is able to be equally identified as stabilization pond type facultative-anaerobic. One boezem which has significant role to east region of Surabaya is Kalidami Boezem (Kalidami watergate). Kalidami Boezem has average depth 2 - 4 meter and potentially produce significant amount of greenhouse gas emission, which are carbon dioxide (CO₂) and one primarily needed to notice, methane (CH₄).

Within this project, author will estimate gross greenhouse gas emission (potential emission), which are CO₂ and CH₄, from Kalidami Boezem. Result of this CO₂ and CH₄ emission estimation then to be used as consideration before using Kalidami Boezem as pretreatment of domestic wastewater in Surabaya. Field measurement and water sample analysis are done in 5 days consecutively, when interseasonal month from dry to rain season occurs (late November to early December). Gross predictions (estimations) of greenhouse gas emission are able to be done using stoichiometry approaching of the result from water sample parameter analysis of Kalidami Boezem using *Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies* of year 2010 compiled by US EPA. Predictions of CO₂ and CH₄ emission are done using 2 reduction scenario. Gross emission estimation obtained from first scenario which is utilizing naturally growth algae on boezem were 192,466 ton CO₂/ year and 75,820 ton CH₄/ year. While gross emission estimation obtained from second scenario which is planning on sludge dredging period were of 195,102 ton CO₂/ year and 75,820 ton CH₄/ year.

Reduction effort of CO₂ by utilizing naturally grown algae on boezem with CO₂ fixation rate of 10,33 kg/day resulting in CO₂ reduction around 1,96%/day on existing condition. Meanwhile, reduction effort of CH₄ by planning on sludge dredging period resulting in reduction of CH₄ around 13,7%/year, with sludge dredging period every 50 days and 124 rotation of 6m³ truck needed on each sludge dredging.

Keywords : carbon dioxide, domestic wastewater, emission, methane, stabilization pond.

KATA PENGANTAR

Om Swastyastu. Salam Sejahtera.

Puji syukur penulis haturkan kepada Hyang Jagatnatha sebagai Yang Menguasai Jagat, dengan segala anugerah dan karunia-Nya melancarkan pekerjaan penulisan buku tugas akhir ini. Tugas akhir berjudul *“Kajian Emisi Gas Rumah Kaca pada Upaya Penerapan Boezem Kalidami sebagai Pretreatment Air Limbah Domestik di Surabaya”* ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana (ST.) pada program studi S1 dari Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Buku ini penulis persembahkan terutama untuk ayah dan mendiang bunda dengan segala doa dan upaya beliau memberikan pendidikan yang baik kepada anak-anaknya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada segala pihak yang telah berkontribusi dalam membantu penulis menyelesaikan buku ini dengan baik. Ucapan terima kasih secara khusus diberikan kepada:

1. Bieby Vojiant Tangahu, ST., MT., PhD. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini.
2. Welly Herumurti, ST., MSc.; Adhi Yuniarto, ST., MT., PhD.; dan Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD. selaku dosen pengarah tugas akhir ini.
3. Prof. Dr. Nieke Karnaningroem, Dipl.SE., MSc. selaku kepala laboratorium serta Edy Pratikto selaku analis dari Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang telah bersedia melakukan analisis sampel air pada penelitian tugas akhir ini.
4. Kepala Badan Kesatuan Bangsa dan Politik (Bakesbangpol) Kota Surabaya yang telah memberikan fasilitas kepengurusan izin penelitian tugas akhir ini.
5. Kepala Dinas Pekerjaan Umum, Bina Marga, dan Pematusan Kota Surabaya selaku pengelola Boezem Kalidami yang telah bersedia menyediakan data terkait

penelitian dan memberikan rekomendasi izin penelitian tugas akhir ini.

6. Operator rumah pompa Kalidami yang telah bersedia memberikan informasi terkait operasional teknis harian di Boezem Kalidami untuk keperluan tugas akhir ini.
7. Tanjung Mega Dwi Puspita (TL 2014) yang telah mengizinkan saya mengadaptasi konsep-ide maupun merujuk sebagian data pada penelitian yang bersangkutan telah lakukan sebelumnya di Boezem Morokrembangan Selatan Surabaya.
8. Hutomo (TL 2012), Ragil (TL 2012), Raka (TL 2014), Valianto (TL 2015), Munif (TL 2016), dan Azha (TL 2016) yang telah bersedia membantu proses sampling dan pengamatan di Boezem Kalidami serta penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa sangat manusiawi apabila terdapat kekurangan dalam setiap pekerjaan penulisan karya tulis, sehingga penulis dengan tangan dan pikiran terbuka menerima segala kritik dan saran yang membangun.

Akhir kata, penulis sampaikan permohonan maaf untuk kekurangan yang ada pada penulisan ini. Semoga dapat diambil ilmu baik yang bermanfaat pada buku ini untuk penerapan kehidupan sehari-hari. Semoga pikiran baik datang dari segala arah, semoga semua makhluk berbahagia, semoga damai selalu. *Salam Rahayu. Om Shantih Shantih Shantih.*

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB 2.....	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Sumber Pencemaran Air.....	7
2.1.1 Sumber Langsung (<i>Point Source</i>).....	7
2.1.2 Sumber Tidak Langsung (<i>Non-point Source</i>).....	8
2.2 Pencemaran Limbah Domestik.....	8
2.3 Parameter Kualitas Air.....	9
2.3.1 Suhu atau Temperatur.....	9
2.3.2 Total Suspended Solid (TSS).....	9
2.3.3 Chemical Oxygen Demand (COD).....	10
2.3.4 Biochemical Oxygen Demand (BOD).....	10
2.3.5 Klorofil-A.....	11
2.3.6 Derajat Keasaman (pH).....	12
2.4 Klasifikasi Kualitas Air Sungai/Saluran/Waduk.....	12
2.5 Identifikasi Gas Rumah Kaca (GRK) pada Sektor Air Limbah Domestik.....	12
2.6 Kolam Stabilisasi.....	17
2.7 Prinsip Estimasi Laju Emisi GRK pada Sektor Air Limbah Domestik.....	19
2.9 Upaya Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Air Limbah Domestik.....	25
2.10 Penelitian Terdahulu.....	27

BAB 3.....	33
GAMBARAN UMUM WILAYAH PENELITIAN	33
3.1 Gambaran Umum Wilayah Studi.....	33
3.2 Jumlah dan Persebaran Penduduk.....	34
3.3 Boezem Kalidami	36
BAB 4.....	39
METODE PENELITIAN	39
4.1 Kerangka Penelitian	39
4.2 Pengumpulan Data.....	39
4.2.1 Pengumpulan Data Sekunder.....	43
4.2.2 Pengumpulan Data Primer.....	43
4.3 Pelaksanaan Penelitian.....	43
4.3.1 Lokasi Penelitian	44
4.3.2 Metode Pengukuran Debit di Saluran	44
4.3.3 Metode Pengambilan Sampel Air	45
4.3.4 Metode Analisis Laboratorium	48
4.4 Analisis Data dan Pembahasan	51
4.4.1 Prediksi Potensi Emisi CO ₂ dan CH ₄ di Boezem Kalidami Menggunakan 2 Skenario Reduksi	51
4.4.2 Prediksi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca pada Skenario yang Ditentukan	54
4.5 Kesimpulan dan Saran.....	55
BAB 5.....	57
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	57
5.1 Pengukuran Lapangan dan Hasil Uji Laboratorium	57
5.1.1 Hasil Pengukuran Debit Air Boezem Kalidami.....	57
5.1.2 Hasil Uji Parameter Kualitas Air Boezem Kalidami..	64
5.2 Prediksi Potensi Emisi CO ₂ dan CH ₄ di Boezem Kalidami dengan 2 Skenario Reduksi	80
5.2.1 Prediksi Emisi Skenario Pertama (Pemanfaatan Alga Alami Boezem).....	81
5.2.2 Prediksi Emisi Skenario Kedua (Perencanaan Waktu Pengerukan Lumpur)	90
5.3 Prediksi Reduksi Emisi CO ₂ dan CH ₄ pada Boezem Kalidami pada Skenario yang Telah Ditentukan	103
5.3.1 Prediksi Reduksi Karbon Dioksida (CO ₂) oleh Alga Alami Boezem	103

5.3.2	Prediksi Reduksi Metana dengan Perencanaan Periode Pengerukan	106
5.4	Kajian Kesesuaian Kualitas Air Boezem Kalidami dengan Baku Mutu	108
BAB 6	111
KESIMPULAN DAN SARAN		111
6.1	Kesimpulan Penelitian	111
6.2	Saran untuk Penelitian Selanjutnya	111
DAFTAR PUSTAKA.....		113
LAMPIRAN A		123
PROSEDUR KEGIATAN LAPANGAN DAN LABORATORIUM		123
LAMPIRAN B		133
HASIL ANALISIS LABORATORIUM SAMPEL AIR		133
LAMPIRAN C		145
DOKUMENTASI FOTO KEGIATAN PENELITIAN		145
LAMPIRAN D.....		149
GAMBAR TEKNIS DAN ILUSTRASI.....		149
LAMPIRAN E		155
BIODATA PENULIS.....		155
BIODATA PENULIS.....		157

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses pada Kolam Fakultatif	18
Gambar 3.1	Lokasi Boezem Kalidami pada Peta Surabaya..	36
Gambar 4.1	Alur Kerangka Penelitian	42
Gambar 4.2	Citra Satelit Lokasi Sampling	44
Gambar 4.3	Kerangka Pengukuran Debit di Saluran dan Dimensi Penampang Saluran	46
Gambar 4.4	Kerangka Pengambilan Sampel Air	47
Gambar 4.5	Kerangka Analisis Laboratorium	49
Gambar 5.1	Penggambaran Segmentasi Saluran Inlet Boezem Kalidami	58
Gambar 5.2	Fluktuasi Debit Boezem Kalidami	61
Gambar 5.3	Fluktuasi Nilai COD Boezem Kalidami	66
Gambar 5.4	Fluktuasi Nilai BOD Boezem Kalidami.....	67
Gambar 5.5	Fluktuasi Nilai MLSS Boezem Kalidami.....	68
Gambar 5.6	Fluktuasi Nilai MLVSS Boezem Kalidami	68
Gambar 5.7	Konsentrasi Klorofil-A Inlet dan Outlet Boezem Kalidami	69
Gambar 5.8	Konsentrasi Klorofil-A pada Komposit Titik Sampling 3,4,5 dan 6,7,8 Boezem Kalidami.....	70
Gambar 5.9	Fluktuasi Suhu Boezem Kalidami	71
Gambar 5.10	Fluktuasi Nilai pH Boezem Kalidami.....	71
Gambar 5.11	Fluktuasi Nilai DO Boezem Kalidami.....	73
Gambar 5.12	Fluktuasi Salinitas Boezem Kalidami.....	73
Gambar 5.13	Nilai Parameter BOD, COD, MLSS, dan MLVSS pada Satu Grafik	77
Gambar 5.14	Nilai Salinitas, MLVSS, Suhu, dan pH pada Satu Grafik.....	78
Gambar 5.15	Nilai Debit, COD, dan MLSS pada Satu Grafik..	79

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tipe Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair	15
Tabel 2.2	Tipe Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair	23
Tabel 2.3	Daftar Penelitian Terdahulu.....	28
Tabel 3.1	Luas Wilayah dan Jumlah Kelurahan tiap Kecamatan di Surabaya	33
Tabel 3.2	Jumlah dan Kepadatan Penduduk tiap Kecamatan di Surabaya	35
Tabel 4.1	Penentuan Prakiraan Titik Lokasi Sampling.....	45
Tabel 4.2	Skenario Reduksi dari Prediksi Potensi Emisi CO ₂ dan CH ₄ yang Dihasilkan Boezem Kalidami.	53
Tabel 4.3	Data Akumulasi Volumetrik Pengerukan Lumpur Boezem Kalidami Tahun 2014-2018.....	53
Tabel 5.1	Luas Penampang dan Kecepatan Aliran Boezem Kalidami.....	62
Tabel 5.2	Fluktuasi Debit Boezem Kalidami.....	63
Tabel 5.3	Beban Massa Air Limbah yang Masuk ke Inlet Boezem.....	76
Tabel 5.4	Ringkasan Hasil Perhitungan Potensi Emisi CO ₂ dan CH ₄ Skenario 1 dan 2	98
Tabel 5.5	Perbandingan Contoh Kasus Total Emisi CO ₂ Pada Sektor Air Limbah Domestik	102
Tabel 5.6	Ringkasan Hasil Perhitungan Reduksi CO ₂ Skenario 1 dan Skenario 2	105
Tabel 5.7	Perbandingan Uji Parameter Boezem Kalidami Rata-Rata dengan Baku Mutu Air Limbah 1.....	108
Tabel 5.8	Perbandingan Uji Parameter Boezem Kalidami Rata-Rata dengan Baku Mutu Air Limbah 2.....	109

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan kolam retensi air hujan atau boezem sebagai sistem drainase dan resapan di Surabaya sudah sejak lama dilakukan. Terhitung mulai dari tahun 2010 hingga tahun 2019, Kota Surabaya telah memiliki sebanyak 72 boezem untuk mengatasi banjir (Humas Pemkot Surabaya, 2019). Kebutuhan ini terus meningkat ketika mulai diterimanya konsep penggunaan boezem oleh masyarakat Surabaya yang telah menerima manfaatnya. Boezem menjadi cukup ideal untuk daerah pesisir dan sangat mungkin untuk dimanfaatkan fungsi penunjang lainnya sebagai percontohan untuk diterapkan di daerah lainnya.

Salah satu boezem penting di Surabaya yaitu Boezem Kalidami. Boezem yang melayani daerah timur Kota Surabaya yang merupakan bagian dari saluran drainase primer Kalidami ini memiliki kedalaman 2 - 4 meter dan luas sekitar 2,7 hektare (DPUBMP Surabaya, 2019). Sesuai Perda Kota Surabaya No 02 Tahun 2004, peruntukan saluran drainase primer Kalidami masuk kategori badan air kelas III. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, peruntukan badan air kelas III terutama untuk menunjang kegiatan budidaya air tawar dan pengairan tanaman.

Boezem Kalidami tidak hanya menerima air hujan tetapi juga air limbah salah satunya dari aktivitas domestik. Hal ini dapat dilihat dari kualitas air saluran drainase primer Kalidami dengan nilai Chemical Oxygen Demand (COD) yang berkisar antara 122 – 162 mg/L (Ardhanaeswari dan Herumurti (2011); Septiani dkk. (2014); Wulandari dan Soedjono (2017)). Nilai COD cenderung meningkat dalam rentang waktu 6 tahun dan ketiganya telah melebihi baku mutu COD untuk badan air kelas III berdasarkan PP RI No 82 Tahun 2001 yakni sebesar 50 mg/L.

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan salah satu parameter untuk menentukan status mutu air. Status mutu air dapat diperoleh salah satunya dengan metode Indeks Pencemar. Pada penelitian Syahputra dkk. (2014), didapatkan Indeks Pencemar di Boezem Kalidami adalah 3,38 pada musim hujan dan 4,99 pada musim kemarau, hal ini berarti status saluran drainase

primer Kalidami saat itu adalah cemar ringan mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003. Nilai COD menggambarkan berbagai macam karakteristik degradasi air limbahnya salah satunya kebutuhan oksigen biologis (BOD) untuk degradasi bahan organik di badan air.

Air limbah domestik secara alami akan terurai dalam kondisi aerobik maupun anaerobik. Proses penguraian ini juga menghasilkan gas-gas rumah kaca seperti CO_2 , CH_4 , NO_x , dan SO_x (Riani, 2012). Secara spesifik, pada unit pengolahan biologis emisi utama yang dihasilkan adalah karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O) (IPCC, 2006; Campos dkk., 2016). Air limbah domestik yang berasal dari rumah tangga menyumbang hingga 70% dari keseluruhan air limbah yang masuk (Li dkk., 2009) dan umumnya didominasi oleh bahan organik (Firdausi dkk., 2016).

Penguraian air limbah pada badan air akan mempengaruhi siklus karbon di dalamnya. Siklus CH_4 di badan air terjadi terutama karena peran aktivitas bakteri anaerob yang menguraikan rantai karbon organik (von Sperling, 2007). Sedangkan siklus CO_2 di badan air terjadi terutama karena peran aktivitas respirasi organisme akuatik maupun simbiosis bakteri aerobik dengan fitoplankton pada kondisi sebaliknya (aerobik) (Effendi, 2003). Metana (CH_4) memiliki nilai indeks pemanasan 21-25 kali CO_2 (Pathak dkk., 2009; IPCC, 2006), sehingga menimbulkan potensi bahaya yang lebih besar ketika terlepas ke udara.

Pada satu penelitian di laut lepas di sekitar Arktika, didapatkan indikasi pelepasan CH_4 ke atmosfer lebih tinggi pada kedalaman laut 5 - 50 m karena terbatasnya pecahan buih dan oksidasi aerobik (Ruppel, 2011). Pada daerah tropis, kemungkinan pelepasan metana ke udara akan lebih tinggi sebanding dengan peningkatan suhu dan kedalaman badan air (Van Amstel, 2012; Ma dkk., 2015). Kemungkinan ini didapatkan dengan asumsi terjadi pula oksidasi metana oleh bakteri pemakan metana seperti pada lahan gambut. Akan tetapi, kemampuan oksidasi bakteri ini menurun mencapai 90% pada suhu lebih dari 20°C (Van Winden dkk., 2012). Hal ini berarti dibutuhkan pemantauan yang lebih baik dalam pengelolaan CH_4 untuk kedalaman badan air yang dangkal pada daerah tropis.

Chemical Oxygen Demand (COD) dapat mewakili jejak karbon dalam air limbah yang masuk ke badan air (Metcalf and Eddy Inc., 2003; Delre dkk., 2018). Boezem dapat diasumsikan memiliki kondisi yang identik dengan unit pengolahan kolam stabilisasi fakultatif-anaerobik (Puspita dan Tangahu, 2018), maka potensi CH₄ minimum yang terlepas secara alamiah adalah lebih dari 1% total beban air limbah yang masuk sebagai COD (Daelman dkk., 2012; Campos dkk., 2016; Delre dkk., 2018). Berdasarkan kecenderungan peningkatan nilai COD, maka terdapat pula potensi peningkatan jejak karbon yang kemudian teremisikan ke udara bebas sebagai gas rumah kaca berupa CO₂ dan CH₄.

Metana (CH₄) dalam kolam stabilisasi terutama terbentuk pada kondisi anaerobik dengan kedalaman lebih dari 2 meter (Sasse, 1998). Hal ini berarti secara alamiah gas rumah kaca dalam jumlah besar dapat terbentuk apabila terakumulasi di suatu danau, waduk, dan laut yang memiliki kedalaman mencapai lebih dari 2 meter. Pada saat air dari saluran drainase primer Kalidami mengalir menuju Boezem Kalidami, bahan organik dari air limbah domestik akan terakumulasi dan mulai bereaksi secara anaerobik dimulai pada kedalaman fakultatif 2 meter (Priadeie, 2014). Potensi emisi gas rumah kaca yang berasal dari air limbah salah satunya berasal dari sumber organik pada air limbah domestik, maka dapat dilakukan penelitian yang mengkaji potensi emisi gas rumah kaca terutama CO₂ dan CH₄ dari sumber tersebut.

Penelitian ini mengkaji potensi emisi gas rumah kaca CO₂ dan CH₄ pada boezem yang diasumsikan sebagai *pretreatment* air limbah domestik berupa kolam stabilisasi. Sejumlah CO₂ dan CH₄ yang teremisikan dapat direduksi melalui beberapa upaya mitigasi seperti dengan memanfaatkan alga alami di boezem dan merencanakan periode pengerukan lumpur. Alga yang tumbuh alami di boezem berpotensi mereduksi hingga 30% emisi total CO₂ yang dihasilkan pada proses penguraian air limbah domestik (Puspita dan Tangahu, 2018). Sedangkan untuk reduksi CH₄ dapat dilakukan dengan menjadwalkan pengerukan secara berkala dengan waktu tinggal maksimum 50 hari di setiap satu siklus pembentukan CH₄ pada kondisi anaerobik (de Mes dkk., 2018).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapa besar potensi emisi CO₂ dan CH₄ pada dua skenario reduksi apabila Boezem Kalidami diterapkan sebagai unit *pretreatment* air limbah domestik di Kota Surabaya?
2. Bagaimana potensi reduksi emisi CO₂ dan CH₄ pada Boezem Kalidami yang diibaratkan sebagai kolam stabilisasi dengan dua skenario reduksi yang ditetapkan?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memprediksi potensi emisi CO₂ dan CH₄ pada Boezem Kalidami yang diterapkan sebagai unit *pretreatment* air limbah domestik di Kota Surabaya dengan menggunakan dua skenario reduksi.
2. Menghitung potensi reduksi CO₂ dan CH₄ pada Boezem Kalidami yang diibaratkan sebagai kolam stabilisasi dengan dua skenario reduksi yang ditetapkan.

1.4 Manfaat

Penelitian ini merupakan bentuk upaya pemantauan kualitas air di Boezem Kalidami dan pemanfaatannya sebagai *pretreatment* air limbah domestik pada jaringan drainase Rayon Gubeng. Hasil analisis potensi emisi gas rumah kaca di Boezem Kalidami diharapkan dapat digunakan sebagai informasi pendukung dalam rangka peningkatan pengelolaan kualitas badan air di wilayah Surabaya secara umum dan jaringan drainase primer Kalidami secara khusus.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian adalah pada Boezem Kalidami (Pintu Air Kalidami). Boezem ini termasuk ke dalam kawasan jaringan drainase Rayon Gubeng dan melayani Kecamatan Gubeng, Kecamatan Mulyorejo dan Kecamatan Sukolilo, Kota Surabaya.
2. Waktu penelitian adalah pada bulan Oktober 2019 hingga Desember 2019 saat pergantian musim kemarau ke musim penghujan.

3. Parameter kualitas air yang dianalisis di laboratorium meliputi:
 - a. Parameter fisik terdiri atas MLSS, MLVSS, suhu, dan pH.
 - b. Parameter kimia terdiri atas BOD₅, COD, dan Klorofil-A pada alga.
4. Parameter gas rumah kaca yang dihitung adalah CO₂ dan CH₄.
5. Beberapa rancangan penelitian yang digunakan meliputi:
 - a. Perhitungan potensi emisi gas rumah kaca pada Boezem Kalidami dengan titik sampling utama pada inlet dan outlet Boezem Kalidami.
 - b. Waktu pengambilan sampel untuk analisis adalah *time series* selama 5 hari berturut-turut mengikuti kondisi lapangan yaitu saat dibukanya pintu air Kalidami; atau minimal 30 menit setelah pompa banjir selesai dioperasikan.
 - c. Penelitian pendukung di lapangan meliputi pengukuran suhu, kecepatan aliran dan penampang saluran di inlet dan outlet Boezem Kalidami.
6. Penentuan perhitungan potensi emisi gas rumah kaca di Boezem Kalidami menggunakan metode *Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies* tahun 2010 oleh US. EPA.
7. Baku mutu kelas air mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air dan dibandingkan peraturan terkait lain yang mendukung jika diperlukan.
8. Analisis parameter kualitas air dilakukan pada skala laboratorium di Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sumber Pencemaran Air

Pencemaran air oleh aktivitas manusia tidak dapat dihindari. Dibutuhkan pengkategorian pencemaran air salah satunya adalah berdasarkan sumbernya. Sumber pencemaran air berasal dari sumber langsung maupun tidak langsung (US. EPA, 2011). Perbedaan yang jelas terlihat pada kemampuan dalam mengidentifikasi serta mengukur besaran air limbah yang dihasilkan sehingga dapat lebih baik dalam pengelolaannya.

2.1.1 Sumber Langsung (*Point Source*)

Sumber-sumber pencemar air secara geografis dapat ditentukan lokasinya dengan tepat. Jumlah limbah yang dibuang dapat ditentukan dengan berbagai cara, antara lain dengan pengukuran langsung, perhitungan neraca massa, dan estimasi lainnya. Sumber pencemar air yang berasal dari sumber tertentu antara lain seperti kegiatan industri dan pembuangan limbah domestik terpadu.

Data pencemaran air dari sumber tertentu biasanya diperoleh dari informasi yang dikumpulkan dan dihasilkan pada tingkat kegiatan melalui pengukuran langsung dari efluen dan perpindahannya atau melalui penggunaan metode untuk memperkirakan atau menghitung besar pencemaran air. Data yang dibutuhkan untuk inventarisasi sumber tertentu antara lain (US. EPA, 2011):

1. Klasifikasi jenis penghasil limbah, seperti kategori jenis usaha atau kegiatan,
2. Data pencemar spesifik yang dibuang, misalnya jumlah beban pencemar yang terukur atau perkiraan yang dibuang ke air dalam satuan massa per unit waktu,
3. Informasi lokasi jenis pencemar khusus yang dibuang, misalnya jenis industri tertentu di suatu daerah menghasilkan beberapa jenis pencemar spesifik.

2.1.2 Sumber Tidak Langsung (*Non-point Source*)

Sumber-sumber pencemar air yang tidak dapat ditentukan lokasinya secara tepat, umumnya terdiri dari sejumlah besar sumber-sumber individu yang relatif kecil. Limbah yang dihasilkan antara lain berasal dari kegiatan pertanian, permukiman, dan transportasi. Penentuan jumlah limbah yang dibuang tidak dapat ditentukan secara langsung, melainkan dengan menggunakan data statistik kegiatan yang menggambarkan aktivitas penghasil limbah.

Sumber pencemar air tak tentu atau *diffuse sources* biasanya berasal dari kegiatan pertanian, peternakan, kegiatan industri kecil–menengah, dan kegiatan domestik atau penggunaan barang-barang konsumsi. Sumber-sumber pencemar air ini umumnya terdiri dari gabungan beberapa kegiatan kecil atau individual yang berpotensi menghasilkan air limbah yang dalam kegiatan inventarisasi sumber pencemar air tidak dapat dikelompokkan sebagai sumber tertentu (US. EPA, 2011).

2.2 Pencemaran Limbah Domestik

Air limbah domestik meliputi sisa ekskresi manusia (feses dan urin; *black water*) dan sisa kegiatan cuci-mandi manusia (tidak tercemar feses; *grey water*). Karakteristik air limbah domestik sangat bergantung pada faktor sosio-ekonomi komunitas manusia itu sendiri di tiap wilayahnya. Parameter umum yang digunakan untuk menyatakan kualitasnya seperti suhu, pH, TSS, BOD, COD, ammonia-N, Nitrat-N, fosfat-P, deterjen (ABS), dan total coliform. Biasanya *grey water* tidak dianggap berbahaya sama sekali oleh masyarakat, sehingga menjadi tidak tertangani dan menyebabkan berbagai masalah perairan (Mara, 2003).

Kontribusi limbah domestik pada penurunan kelarutan oksigen (DO) di perairan sangat besar karena terdiri kandungan organik yang tinggi. Pada daerah dengan temperatur tinggi, terutama daerah tropis, air limbah akan lebih cepat terurai. Akan tetapi, beban limbah selalu lebih besar sehingga tidak cukup waktu bagi badan air untuk memulihkan diri. Hal ini terutama terjadi di daerah berkembang, kumuh, atau dan sulit terjangkau ketika penanganan air limbah masih sangat minim dan populasi manusianya tinggi. Pendekatan pengelolaan air limbah berbasis masyarakat (ekonomis, sederhana, dan mudah dioperasikan) akan

lebih mudah diterapkan pada pencemaran limbah domestik (Oladoja, 2016).

2.3 Parameter Kualitas Air

Beberapa karakteristik atau indikator kualitas air disarankan untuk dianalisis sehubungan pemanfaatan sumberdaya air untuk berbagai keperluan. Parameter utama yang umum digunakan adalah parameter fisik dan parameter kimia (Effendi, 2003). Parameter fisik yang digunakan pada penelitian ini yaitu suhu dan total padatan tersuspensi (TSS) sebagai larutan campuran padatan tersuspensi (MLSS) dan larutan campuran padatan tersuspensi volatil (MLVSS), sedangkan parameter kimia yang digunakan yaitu COD, BOD, klorofil-A dan pH. Parameter kualitas air selanjutnya akan dianalisis menggunakan alat yang sesuai untuk pengujian pada masing-masing parameter.

2.3.1 Suhu atau Temperatur

Suhu air limbah kebanyakan lebih tinggi daripada suhu badan air. Hal ini erat hubungannya dengan proses biodegradasi. Pengamatan suhu dimaksudkan untuk mengetahui kondisi perairan dan interaksi antara suhu dengan aspek kesehatan habitat dan biota air lainnya. Perubahan suhu air yang tidak sesuai akan menimbulkan beberapa akibat, seperti (1) perubahan oksigen terlarut di dalam air; (2) perubahan kecepatan reaksi kimia; (3) pada kondisi ekstrim, keseimbangan ekosistem dapat terganggu (Fardiaz, 1992).

Pada suhu mesofilik 15° - 35 °C, kebutuhan akan oksigen terlarut (COD) pada berbagai pengolahan cenderung menjadi tinggi. Hal ini dikarenakan kecenderungan peningkatan aktivitas mikroorganisme pengurai seperti bakteri dan alga serta reaktivitas senyawa kimia tertentu. Akibatnya, kandungan oksigen terlarut (DO) di dalam air akan semakin cepat menurun karena kebutuhan oksigen lebih tinggi ditandai dengan peningkatan nilai COD atau parameter lainnya baik pada kondisi aerobik maupun anaerobik (Mahmoud, 2002; Ahsan dkk., 2005).

2.3.2 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) dapat digunakan sebagai indikator sedimen organik dan inorganik di badan air yang secara

umum terdiri atas lumpur, padatan halus (misal koloid), dan mikroorganisme. Nilai TSS sebanding dengan besar laju pembentukan sedimennya dan secara umum nilai terbesar di perairan berada di bagian inlet. Perubahan nilai TSS juga mempengaruhi parameter lain (mis. suhu, kekeruhan, dsb.) di perairan akibat aksi-reaksi dari padatan tersebut (Fauzi dan Wicaksono, 2016; Wahab dkk., 2018).

Nilai TSS berhubungan dengan nilai MLSS atau *Mixed Liquor Suspended Solids*. Nilai MLSS merupakan istilah lain dari TSS untuk kategori lumpur biologis. Terdapat senyawa volatil dan non-volatil dalam nilai MLSS, namun yang utama dicari adalah nilai volatilnya atau disebut *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids* (MLVSS). Nilai MLVSS sangat umum digunakan sebagai rujukan nilai total biomassa (Galinha dkk., 2018). Nilai MLVSS yang tinggi menyebabkan kepadatan larutan yang lebih tinggi sehingga cenderung membatasi pergerakan difusi oksigen di air (Estrada-Arriaga dkk., 2014)

2.3.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Kebutuhan Oksigen Kimiawi, atau lebih dikenal dengan istilah *Chemical Oxygen Demand* (COD), merupakan parameter yang umum digunakan untuk mengetahui kualitas perairan. Nilai COD menggambarkan besarnya oksidasi yang terjadi baik pada partikel *biodegradable* (sebagai BOD) maupun *non-biodegradable* (Boyd, 1990; Metcalf and Eddy Inc., 1991).

Nilai COD dalam penggunaannya sangat luas dan fleksibel karena mewakili banyak reaksi yang terjadi di air. Nilai ini dapat menunjukkan sifat toksik suatu perairan akibat partikel anorganik secara spesifik, namun perlu diperhatikan kemungkinan terjadinya interferensi reaksi oksidasi akibat senyawa asli dari sampel air terutama klorida (Cl) (Sawyer, 2003).

2.3.4 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) atau Kebutuhan Oksigen Biokimia (KOB) merupakan pendekatan empiris yang umum terhadap proses-proses mikrobiologis yang terjadi di dalam air. Nilai BOD menggambarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) hampir semua zat

organik yang terlarut dan sebagai zat-zat organik yang tersuspensi dalam air (Agustira, 2013).

Nilai BOD berkaitan erat dengan nilai kelarutan oksigen (DO) sehingga umum ditampilkan berdampingan. Menurut Muriasih dkk. (2012), nilai DO dipengaruhi oleh suhu dan kecepatan aliran badan air. Faktor tersebut sangat terkait kelarutan dan difusi oksigen dalam air (Boyd, 1990). Pada suhu yang cenderung lebih tinggi, semakin sulit diperoleh nilai DO yang tinggi, sedangkan pada kecepatan aliran berbanding lurus dengan fluktuasi DO.

Hal ini dapat dijadikan pertimbangan bahwa nilai DO pada daerah tropis cenderung lebih rendah, sedangkan aktivitas mikroorganisme tetap meningkat maka akan dicapai titik jenuh badan air yang lebih cepat. Apabila nilai BOD tetap tinggi dan nilai DO rendah, maka keadaan yang cenderung terjadi adalah kondisi septik atau anaerobik.

2.3.5 Klorofil-A

Klorofil merupakan zat pigmen pada kloroplas tumbuhan dan alga, tempat terjadinya reaksi fotosintesis. Semua alga memiliki zat warna utama klorofil-A, sedangkan pigmen klorofil lainnya seperti klorofil-B dan klorofil-C bervariasi pada tiap spesies alga. Pada jenis alga hijau-biru (*cyanobacteria*), terdapat klorofil-A (zat warna hijau) sebagai zat warna utama dan fikosianin (zat warna biru), serta fikoeritrin (zat warna merah) sebagai zat warna pelengkap yang menyebabkan warna alga tersebut menjadi hijau-biru. (Bitton, 2005).

Pada beberapa penelitian, didapatkan besarnya nilai klorofil-A fitoplankton, atau dalam penelitian ini disebut alga, dipengaruhi berbagai faktor karakteristik fisik-kimia air. Terdapat potensi korelasi positif antara besarnya nilai nutrisi dengan besaran nilai klorofil-A alga (Adani dkk., 2013; Prianto dkk., 2013; Prihatin dkk., 2018; Aryawati dan Thoha, 2011; Sihombing dkk. 2013). Mempertimbangkan bahwa pasti seluruh alga memiliki klorofil-A, maka pengukuran parameter nilai klorofil-A merupakan tolok ukur utama dalam analisis terkait aktivitas fotosintesis pada alga dengan cakupan pembahasan yang luas.

2.3.6 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) sangat terkait dengan aktivitas kimia-biologis perairan. Berbagai indikator pengujian kualitas air yang digunakan sangat bergantung pada nilai pH yang diamati. Nilai pH pada pengolahan air limbah perlu diketahui untuk menyesuaikan dengan satu proses stoikiometri spesifik yang diharapkan, baik kimiawi ataupun biologis (Sawyer dkk., 2003).

2.4 Klasifikasi Kualitas Air Sungai/Saluran/Waduk

Upaya dalam pengendalian pencemaran lingkungan khususnya pencemaran terhadap badan air dilakukan sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Terdapat klasifikasi mutu air berdasarkan 4 kelas yang saling terkait dengan pengelolaan selanjutnya mengikuti peraturan pemerintah terbaru yang dikhususkan.

1. Kelas satu, yakni air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut,
2. Kelas dua, yakni air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut,
3. Kelas tiga, yakni air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut,
4. Kelas empat, yakni air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

2.5 Identifikasi Gas Rumah Kaca (GRK) pada Sektor Air Limbah Domestik

Pengolahan air limbah yang umum di negara berkembang, baik air limbah domestik maupun industri, adalah IPAL terpusat

secara aerobik dan kolam (*lagoon*). *Pretreatment* air limbah umumnya dilakukan industri-industri untuk mengurangi biaya kelebihan beban air limbah yang masuk ke pengolahan tersebut. Sedangkan untuk limbah domestik umumnya ditampung di lubang kakus/ cubluk (*pit latrine*), tangki septik, atau langsung dibuang ke badan air sehingga tidak diinventarisasikan (*non-point source wastewater*). (IPCC, 2006).

Diketahui secara umum bahwa kebanyakan kasus pengelolaan air limbah domestik di negara berkembang terkendala oleh keterbatasan ekonomi (Mahmood dkk., 2013). Permasalahan pengelolaan air limbah domestik di negara berkembang, termasuk dalam hal ini di Indonesia, selalu menjadi prioritas yang rendah sehingga jarang ditemui fasilitas IPAL yang memadai (Peal dkk. dalam UN Water, 2015). Air limbah yang tidak terolah tersebut akan terakumulasi di badan air dan bereaksi baik secara aerobik maupun anaerobik membentuk gas-gas rumah kaca. Hal ini menjadi lebih berbahaya lagi apabila besarnya emisi gas-gas rumah kaca dari badan air tersebut tidak dipantau/dinventarisasikan.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006) menyatakan bahwa produksi gas rumah kaca yang berlebihan, terutama pada karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O) berasal dari sumber antropogenik bertanggung jawab atas pemanasan global dan perubahan iklim (El-Fadel dan Massoud, 2001). Akan tetapi, pada panduan yang dibuat oleh IPCC tersebut, emisi CO_2 dari air limbah tidak dapat dimasukkan ke dalam total emisi nasional karena berasal dari sumber biogenik (sisa aktivitas hewan, manusia, dan tanaman). Namun demikian, tetap diperlukan identifikasi dan perhitungan pada semua sumber baik sumber alami maupun antropogenik sebagai upaya untuk strategi dalam mengendalikan dan mereduksi laju kenaikan emisi gas rumah kaca pada atmosfer.

Karbon dioksida (CO_2) mempunyai presentase sebesar 50% dari total GRK sementara metana (CH_4) memiliki presentase sebesar 20% (Rukaesih, 2004). Selain itu terdapat pula dinitrogen oksida (N_2O) yang berasal dari siklus nitrogen pada proses nitrifikasi – denitrifikasi (IPCC, 2006). Metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O) merupakan senyawa GRK utama yang perlu dipantau

dalam pengelolaan limbah domestik karena berpotensi sangat besar dalam perubahan iklim. Metana (CH_4) mempunyai kontribusi terhadap pemanasan global sebesar 21-25 kali berat ekuivalen CO_2 , sedangkan dinitrogen oksida (N_2O) sebesar 290-310 kali berat ekuivalen CO_2 (IPCC, 2006; Pathak, 2009).

Proses degradasi biokimia air limbah rumah tangga berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca yaitu CH_4 (metana) dan N_2O (dinitrogen oksida) (IPCC, 2006; Campos dkk., 2016). Pengolahan air limbah secara aerobik cenderung menghasilkan emisi gas rumah kaca yang rendah, namun menghasilkan lumpur/ *sludge* yang perlu diolah melalui pengolahan anaerobik, *land disposal* maupun insinerasi. Proses sampingan dari pengolahan ini tetap menghasilkan gas-gas rumah kaca tersebut.

Emisi CO_2 dan CH_4 yang dihasilkan unit pengolahan air limbah turut berkontribusi dalam efek gas rumah kaca. Diketahui bahwa CO_2 dan CH_4 merupakan gas rumah kaca utama yang menyumbang pemanasan global. Reaksi biokimia pada zona heterotropik turut berkontribusi pada emisi gas rumah kaca yang disebabkan proses degradasi karbon dan nitrogen (Shilton dan Walmsey, 2005). Pada zona ini keberadaan oksigen sangat sedikit atau bahkan tidak ada (kondisi anoksik), sehingga juga disebut sebagai zona fakultatif.

Menurut Zimmo dkk. (2005) gas rumah kaca yang diemisikan pada zona ini adalah N_2O dari proses nitrifikasi/ denitrifikasi. Pada kedalaman kolam yang dangkal terdapat zona fotik yang merupakan zona aerobik dimana terdapat konsentrasi oksigen yang tinggi. Adanya oksigen dalam zona ini karena oksigen diproduksi oleh alga melalui proses fotosintesis menggunakan cahaya matahari. Meninjau hal tersebut, diketahui bahwa reaksi akan sangat dipengaruhi oleh karakteristik masukan (bahan organik dan nutrien), dalam hal ini berasal dari air limbah, sehingga dapat berbeda pada berbagai pola pembuangan air limbah.

Pada pola pembuangan air limbah ke badan air dapat dikategorikan menjadi dua yakni tanpa perlakuan dan dengan perlakuan. Pola pembuangan dengan perlakuan dibagi lagi menjadi dua yakni pertama hanya diberi *pretreatment* saja dan

kedua diberi *pretreatment* dan dilengkapi pengolahan. Tipe pengolahan dan pembuangan limbah cair serta jenis gas rumah kaca yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tipe Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair

Perlakuan	Proses	Tipe Pengolahan dan Pembuangan	Potensi Emisi CH ₄ dan N ₂ O
Tanpa perlakuan	Aerobik/ Anaerobik	Aliran sungai	Kekurangan oksigen pada sungai/ danau menyebabkan dekomposisi secara anaerobik yang menghasilkan CH ₄
		Saluran tertutup bawah tanah	Tidak menghasilkan CH ₄ dan N ₂ O
		Saluran pembuangan (terbuka)	Kelebihan limbah pada saluran terbuka merupakan sumber CH ₄
Dikumpulkan dan diolah	Aerobik	Fasilitas pengolahan limbah cair terpusat secara anaerobik	CH ₄ dalam jumlah tertentu dari lapisan anaerobik
			Sistem aerobik yang buruk dapat menghasilkan CH ₄
			Pabrik dengan pemisahan nutrisi (nitrifikasi dan denitrifikasi) menghasilkan N ₂ O dalam jumlah sedikit

Perlakuan	Proses	Tipe Pengolahan dan Pembuangan	Potensi Emisi CH ₄ dan N ₂ O
		Pengolahan lumpur anaerobik pada pengolahan limbah cair terpusat secara anaerobik	Kemungkinan lumpur merupakan sumber CH ₄ dan jika CH ₄ yang dihasilkan tidak direcovery dan dibakar (flared)
		Kolam dangkal secara anaerobik	Tidak menghasilkan CH ₄ dan N ₂ O Sistem aerobik yang buruk dapat menghasilkan CH ₄
		Danau di pinggir laut secara anaerobik	Dapat menghasilkan CH ₄ Tidak menghasilkan N ₂ O
	Anaerobik	Reaktor (digester) anaerobik	Kemungkinan lumpur merupakan sumber CH ₄ dan jika CH ₄ yang dihasilkan tidak direcoveri dan dibakar (flared) yang dihasilkan tidak direcoveri dan dibakar (flared)
Dikumpulkan saja	Aerobik/ Anerobik	Septic tank	Sering kali pemisahan padatan mengurangi produksi CH ₄

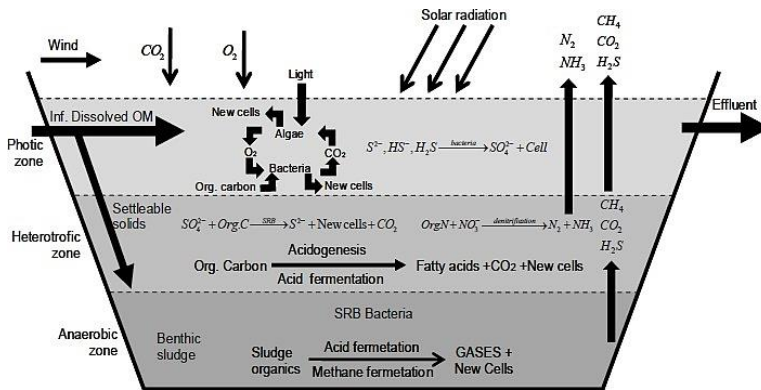
Perlakuan	Proses	Tipe Pengolahan dan Pembuangan	Potensi Emisi CH ₄ dan N ₂ O
		Latrine/ Lubang Kakus Kering	Produksi CH ₄ (temperatur & waktu penyimpanan tertentu)
		Aliran sungai	Kekurangan oksigen pada sungai/ danau menyebabkan dekomposisi secara anaerobik yang menghasilkan CH ₄

Sumber : IPCC, 2006

2.6 Kolam Stabilisasi

Kolam stabilisasi merujuk pada proses pengolahan air limbah secara alami oleh lingkungan di badan air tersebut. Kolam stabilisasi sangat ideal apabila tersedia lahan yang cukup dan suhu cukup tinggi (seperti daerah tropis) karena kondisi ini akan mendukung proses yang terjadi di dalamnya. Pada prinsipnya, kolam stabilisasi terdiri dari 3 jenis yaitu: (1) kolam anaerobik; (2) kolam fakultatif; dan (3) kolam maturasi. Modifikasi yang sesuai akan meningkatkan kinerjanya terutama pada jenis kolam anaerobik dan fakultatif (Mara, 2003).

Pada sebuah kolam fakultatif yang mempunyai kedalaman 1,5 - 2 meter yang berfungsi sebagai kolam penampung air limbah terdapat beberapa zona yang mempengaruhi proses yang terjadi. Hal ini terjadi akibat pengaruh kedalaman kolam, penetrasi cahaya matahari, dan kadar oksigen. Jenis kolam ini cukup ideal karena terjadi siklus lengkap antara bakteri dan fitoplankton. Proses yang terjadi dalam kolam fakultatif dapat digambarkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses pada Kolam Fakultatif

Sumber: Silva, 2007

Pada zona anaerobik zat organik distabilisasi menjadi CO_2 dan CH_4 melalui mekanisme anaerobik. Prosesnya diawali dengan sedimentasi *settleable solids* yang diikuti dengan digesting anaerobik sehingga terbentuklah lapisan lumpur. Hasil akhir dari proses anaerobik ini adalah CO_2 , CH_4 , dan H_2S yang ditransfer ke atmosfer melalui mekanisme difusi. Selain itu, terdapat keuntungan penerapan kolam stabilisasi untuk negara berkembang dilihat dari sisi kemudahan, nilai ekonomis, dan kinerjanya yang cukup baik sebagai *pretreatment* air limbah domestik (Mara, 2003).

Pada kolam stabilisasi terdapat aliran debit inlet dan outlet agar aliran bersifat kontinyu atau intermitten. Boezem Kalidami memiliki aliran debit inlet dan outlet sehingga dapat dilakukan identifikasi potensi emisi gas rumah kaca dengan metode dari US EPA. Akan tetapi, boezem di Surabaya kebanyakan hanya memiliki inlet tetapi tanpa outlet sehingga aliran menjadi bersifat batch. Pada kasus seperti ini tidak dapat diprediksi potensi emisi gas rumah kaca dengan menggunakan metode US EPA ataupun IPCC sehingga dapat digunakan metode alternatif melalui pengukuran langsung (*onsite*) atau gas kromatografi dari sampel air.

Prinsip pengukuran debit inlet dan outlet adalah dengan mengukur kecepatan aliran dan luas penampang basah. Luas penampang basah diperoleh dari nilai lebar dan kedalaman saluran. Pertimbangan utama yang dipertimbangkan adalah pembagian segmen saluran agar didapatkan nilai rerata yang mewakili keseluruhan lebar saluran. Semakin banyak segmentasi, semakin akurat nilainya. Perhitungan debit menggunakan persamaan 2.1 (Joetata, 1997; Masduqi dan Assomadi, 2012) :

$$Q = A \times v \quad \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan:

- Q = debit air (m³/detik)
- A = luas penampang basah saluran (m²)
- v = kecepatan aliran air (m/detik)

2.7 Prinsip Estimasi Laju Emisi GRK pada Sektor Air Limbah Domestik

Prinsip penting dalam menentukan produksi metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) adalah jumlah material organik yang dapat terurai pada limbah domestik. Parameter umum yang ekuivalen untuk mengukur material organik terurai dalam air limbah domestik adalah BOD dan COD (Metcalf and Eddy Inc., 1991; Sawyer, 2003). Semakin tinggi angka BOD dan atau COD diasumsikan semakin banyak CO₂ dan CH₄ yang dihasilkan. Pengelolaan limbah domestik dapat menghasilkan CH₄ secara disengaja maupun tidak disengaja ketika kondisi cukup anaerobik.

Metana (CH₄) pada badan air umumnya akan membentuk senyawa hidrat metana yang terikat pada sedimen dan padatan di dasar badan air. Senyawa hidrat ini sejauh ini belum dapat dipahami secara jelas proses pelepasannya ke atmosfer. Walaupun demikian, ada beberapa faktor yang diketahui mempengaruhi kecepatan difusi CH₄ ke udara seperti absorpsi, kelarutan, dan oksidasi pada setiap kolom kedalaman badan air (Van Amstel, 2012).

Apabila proses pelepasan CH₄ ini secara umum diasumsikan tipikal di semua badan air, maka faktor penting adalah

kedalaman air dan ketersediaan oksigen. Sebagai contoh jika kolam dangkal (kurang dari 1 meter) umumnya akan menghasilkan kondisi aerobik karena difusi oksigen yang baik, sehingga tidak menghasilkan CH_4 . Sebaliknya, kolam dengan kedalaman 2-3 meter umumnya dapat menghasilkan CH_4 dengan jumlah yang cukup berarti (Priadeie, 2014). Pada Boezem Kalidami yang dikondisikan seperti kolam stabilisasi, kondisi anaerobik dapat dicapai dengan kedalaman antara 2-4 meter. Hal ini mengacu pada Sasse (1998) yakni kondisi anaerobik dapat terjadi pada kolam stabilisasi dengan kedalaman 2-6 meter.

Selanjutnya ada karbon dioksida (CO_2) yang secara umum berasal dari oksidasi material organik saat pengolahan air limbah dan pembakaran bahan bakar fosil untuk pemanasan (Sahely, 2006). Menurut Effendi (2003) karbon dioksida dalam bentuk karbon anorganik terlarut diubah menjadi karbon organik melalui proses fotosintesis, kemudian kembali ke atmosfer melalui proses respirasi dan dekomposisi. Keseimbangan CO_2 berasal dari interaksi antara sumber dan lepasnya gas ini.

Prinsip utama pembentukan CO_2 berhubungan dengan proses biogenik seperti respirasi hewan, proses mikroba dalam dekomposisi bahan organik, karbon tanah, laut, pembakaran bahan bakar, dan fotosintesis dari tumbuhan dan organisme lain (Cyanobakteria dan Alga). Pada proses penguraian air limbah, terdapat dua faktor utama yang mempengaruhi produksi CO_2 yaitu proses pengolahan secara biologis dan pemakaian listrik pada saat melakukan pengolahan air limbah (Campos dkk., 2016).

Perlu diketahui, terdapat pula emisi N_2O dihasilkan dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi pada proses penguraian limbah domestik. Senyawa ini terbentuk apabila kondisi perairan memiliki nilai pH dan DO yang rendah (Law dkk., 2009). Namun demikian, gas N_2O pada siklus nitrogen lebih sulit diprediksi sehingga lebih sedikit diteliti dibandingkan dengan CO_2 dan CH_4 pada siklus karbon.

Berdasarkan penelitian Daelman dkk. (2012), paling tidak sebanyak 1% dari total emisi CH_4 dari air limbah teridentifikasi berasal dari COD (*Chemical Oxygen Demand*). Sumber utama dari emisi CH_4 adalah lumpur/ *sludge* yang diolah secara biologis. Pada proses produksi CO_2 , ada dua faktor utama yang mempengaruhi

yaitu proses pengolahan secara biologis dan pemakaian listrik pada saat melakukan pengolahan air limbah (Campos dkk., 2016).

Perhitungan potensi emisi gas rumah kaca di boezem Kalidami pada fase larutan tersuspensi (*liquour*) dipertimbangkan karena pada fase larutan tersuspensi juga dapat terjadi kondisi anaerobik sehingga memungkinkan terjadinya proses degradasi zat organik yang menimbulkan emisi gas rumah kaca. Perhitungan potensi emisi gas rumah kaca pada fase larutan menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3. Hasil perhitungan potensi emisi gas rumah kaca pada proses digesting lumpur yang mengendap pada dasar Boezem dan pada proses biodegradasi zat organik pada air Boezem dapat digunakan untuk mengetahui jumlah total gas rumah kaca yang diemisikan dari boezem.

Persamaan 2.2 dan 2.3 merupakan persamaan umum yang dapat digunakan untuk prediksi (estimasi) besarnya potensi emisi CO₂ dan CH₄ secara langsung dari berbagai tipe proses pengolahan air limbah yang mengasumsikan bahwa semua karbon organik hilang dari air limbah dan terkonversi menjadi CO₂ dan CH₄ atau sel biomassa yang baru tanpa mempertimbangkan faktor lain yang berpengaruh (US. EPA, 2010).

$$CO_2 = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

.....2.2

$$CH_4 = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

.....2.3

Keterangan:

CO₂ = laju emisi CO₂ (ton CO₂/jam)

CH₄ = laju emisi CH₄ (ton CH₄/jam)

10⁻⁶ = faktor konversi unit (ton/g)

Q_{ww} = debit air limbah influen (m³/jam)

OD = *oxygen demand* dari influen air limbah yang masuk unit pengolahan biologis, ditentukan dari nilai BOD₅ atau COD (mg/L atau g/m³)

Eff_{OD} = efisiensi removal *oxygen demand* dari unit pengolahan

- CF_{CO_2} = faktor konversi dari produksi maksimum CO_2 per unit *oxygen demand*; diperoleh dari nilai atom CO_2 per nilai atom $O_2 = 44/32 = 1,375$ g CO_2 / g *oxygen demand*
 CF_{CH_4} = faktor konversi dari produksi maksimum CH_4 per unit *oxygen demand*; diperoleh dari nilai atom CH_4 per nilai atom $O_2 = 16/32 = 0,5$ g CH_4 / g *oxygen demand*
 MCF_{ww} = faktor koreksi metan dan tipe pengolahan air limbah, mengindikasikan fraksi influen *oxygen demand* yang terkonversi secara anaerobik dalam air limbah
 BG_{CH_4} = fraksi karbon sebagai CH_4 dalam produksi biogas (nilai default 0,65)
 λ = nilai yield dari biomassa (g C yang terkonversi ke biomassa/ g C terkonsumsi pada proses pengolahan air limbah)

Nilai *yield* (λ), pada persamaan 2.2 dan 2.3 ditentukan berdasarkan jumlah produksi lumpur dari prosesnya. Nilai *Mixed Liquor Volatile Suspended Solids* (MLVSS) digunakan untuk menghitung konsentrasi biomassa. Debit lumpur dikalikan dengan konsentrasi MLVSS menunjukkan laju produksi biomassa. Karbon yang terkonsumsi dalam proses pengolahan air limbah biogenik diestimasikan dengan nilai laju removal BOD. Nilai *yield* (λ) dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4 (US. EPA, 2010).

$$\lambda = \frac{Q_s \times [MLVSS_s] \times CF_s}{Q_{ww} \times OD \times EFF_{OD} \times CF_c}$$

.....2.4

Keterangan:

- λ = nilai yield dari biomassa (g C yang terkonversi ke biomassa/ g C terkonsumsi pada proses pengolahan air limbah)
 Q_s = debit lumpur (m^3 /jam)
 Q_{ww} = debit air limbah influen (m^3 /jam)
 $[MLVSS_s]$ = konsentrasi mixed liquor volatile suspended solids dari aliran lumpur (MLVSS) (mg/L atau g/m^3)

- OD = *oxygen demand* dari influen air limbah yang masuk unit pengolahan biologis, ditentukan dari nilai BOD₅ atau COD (mg/L atau g/m³)
- Eff_{OD} = efisiensi removal *oxygen demand* dari unit pengolahan
- CF_S = faktor koreksi karbon pada biomassa = 0,53 g C / g MLVSS (nilai default)
- CF_C = faktor konversi konsumsi maksimum C per unit *oxygen demand*; diperoleh dari nilai atom C per nilai atom O₂ = 12/32 = 0,375 g CH₄/ g *oxygen demand*

Tabel 2.2 Tipe Pengolahan dan Pembuangan Limbah Cair

Sistem Pengolahan Proses Pengolahan Air Limbah	MCF (a)	λ
Proses pengolahan dengan aerasi (contoh: sistem activated sludge), catatan: dikelola dengan baik	0	0,65 (b)
Proses pengolahan dengan aerasi (pada daerah anoksik)	0,3	0,45 (b),(c)
Proses pengolahan anaerobik (misal: reaktor anaerobik)	0,8	0,1 (c),(d)
Kolam fakultatif pada kedalaman <2 m	0,2	0
Kolam fakultatif pada kedalaman >2 m	0,8	0
Proses pengolahan lumpur Aerobic sludge digestion	0,8	menggunakan λ dari desain
Anaerobic sludge digestion		

Sumber:

- (a) IPCC (2006); US. EPA (2010).
- (b) Choubert dkk. (2009); Muller dkk. (2003); Munz (2008); US. EPA (2010). λ dinyatakan dalam g COD biomassa terproduksi/ g COD yang digunakan; sama seperti λ pada g C biomassa yang terproduksi/ g C yang digunakan seperti saat menggunakan CF_C pada persamaan 2.4.
- (c) Ammary (2004); US. EPA (2010). λ dinyatakan dalam g VSS yang terproduksi/ g COD yang terdegradasi; nilai ini kemudian dikonversikan menjadi λ pada g C biomassa terproduksi/ g C yang digunakan, dengan menggunakan nilai default CF_S dan CF_C pada persamaan 2.4 sehingga $\lambda = \lambda$ yang dihasilkan dari CF_S/CF_C .
- (d) Low dan Chase (1999); US. EPA (2010). λ dinyatakan dalam g VSS yang terproduksi/ g COD yang terdegradasi; nilai ini kemudian dikonversikan menjadi λ pada g C biomassa terproduksi/ g C yang digunakan, dengan menggunakan nilai default CF_S dan CF_C pada persamaan 2.4 sehingga $\lambda = \lambda$ yang dihasilkan dari CF_S/CF_C .

Pada produksi lumpur dalam fasilitas pengolahan air limbah dapat mengalami proses *digesting* di dalam unit tersebut, sehingga menghasilkan emisi CO₂ dan CH₄. Perhitungan estimasi emisi CO₂ dan CH₄ yang dihasilkan dari *digesting* lumpur biologis yang terproduksi dalam sistem pengolahan air limbah dapat dimodifikasi menjadi persamaan 2.5 dan 2.6 berikut ini.

$$CO_2 = 10^{-6} \times Q_s \times [MLVSS] \times CF_S \times \frac{44}{12} \times [(1 - MCF_s \times BG_{CH_4})]$$

.....2.5

$$CH_4 = 10^{-6} \times Q_s \times [MLVSS] \times CF_S \times \frac{16}{12} \times [(MCF_s \times BG_{CH_4})]$$

.....2.6

Keterangan:

Nilai MCF_{ww} merupakan faktor koreksi untuk air limbah pada keadaan tersuspensi, sedangkan MCF_S merupakan faktor koreksi metan untuk lumpur *digesting*. Nilai ini menunjukkan jumlah air limbah dan lumpur yang terkonversi menjadi CH₄ secara anaerobik merujuk pada tabel 2.2.

2.9 Upaya Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Air Limbah Domestik

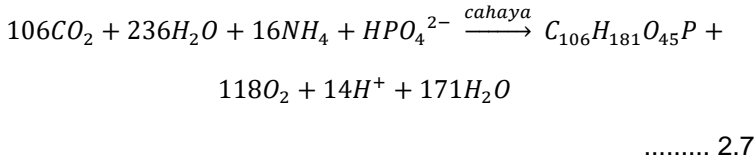
Mitigasi emisi gas rumah kaca pada semua sektor perlu dilakukan untuk meminimalkan percepatan waktu dari efek perubahan iklim, termasuk yang berasal dari sektor air limbah. Upaya paling efektif untuk melakukan mitigasi adalah memanfaatkan potensi yang ada di sekitar tempat emisi tersebut dihasilkan. Pada sektor emisi yang berasal dari badan air, salah satu fokus upaya reduksi CH₄ adalah dengan meminimalkan potensi pembentukannya atau menjadikannya senyawa CO₂ yang lebih rendah potensi perubahan iklimnya.

Apabila mitigasi gas rumah kaca yang menjadi fokus utama adalah CO₂, maka opsi fiksasi dan pengendapan karbon (*carbon sequestration*) dapat dilakukan. Kedua upaya reduksi CO₂ ini merupakan beberapa bentuk pengembangan dari teknologi carbon capture storage (CCS) yang saat ini menjadi perhatian dunia (Sopiah dkk., 2012). Fiksasi CO₂ didapatkan dengan memanfaatkan aktivitas fitoplankton alga, atau di sini akan disingkat alga saja, yang terjadi secara alami di badan air (Mike, 2009). Sedangkan pengendapan karbon didapatkan melalui aktivitas pengendapan secara alami pada mekanisme pembentukan senyawa karbonat pada kondisi sesuai (*favorable*). Siklus alami karbon terjadi sangat dinamis sehingga pemantauan secara rutin tetap perlu dilakukan.

Pada zona kedalaman fototropik-heterotropik, alga menggunakan CO₂ terlarut hasil fiksasi untuk melakukan sintesis senyawa organik menjadi energi melalui proses fotosintesis (Stepan dkk., 2012). Alga dapat melakukan mekanisme fiksasi CO₂ melalui 3 sumber yang berbeda yakni berasal dari atmosfer, gas lepasan industri yang terlarut ke badan air, serta karbonat terlarut (Wang dkk., 2008). Walaupun setiap jenis alga memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap CO₂, terdapat potensi laju fiksasi minimum melebihi 250 mg CO₂/L.hari pada kondisi komposisi biomassa 70% dari total suspensi (Singh dan Singh, 2014).

Perhitungan jumlah CO₂ yang dapat difiksasi oleh alga diperoleh dari perbandingan stoikiometri pada reaksi fotosintesis alga. Pencahayaan menjadi faktor utama pada reaksi fotosintesis

dan spektrum cahaya yang lebih luas menunjukkan efek positif pada kemampuan alga untuk melakukan fiksasi CO₂ (Prapta dan Hermana, 2012). Mekanisme fotosintesis dalam sel alga dapat dilihat pada persamaan 2.7 (Mara, 2003).



Berdasarkan reaksi secara stoikiometri tersebut, diketahui bahwa besarnya CO₂ yang difiksasi pada reaksi fotosintesis akan setara dengan besarnya sel alga yang terbentuk (C₁₀₆H₁₈₁O₄₅P). Pada reaksi stoikiometri tersebut, didapatkan bahwa untuk membentuk 1 mol sel alga membutuhkan 106 mol CO₂. Melalui perhitungan stoikiometri sederhana, didapatkan bahwa per 1 gram alga dengan berat molekul total 2428 akan ekivalen dengan 1,92 gram CO₂ (persamaan 2.8).

$$\rho = \frac{\text{berat } CO_2 \text{ terfiksasi}}{\text{berat sel alga yang terbentuk}} = \frac{106 \times 44}{2428} = 1,92 \frac{gCO_2}{g \text{ alga}}$$

..... 2.8

Nilai biomassa alga diperoleh dari hasil analisis klorofil-A alga. Nilai biomassa alga basah jenis *cyanophyta* setara dengan 22% dari berat kering alga sebagai C dan nilai ini dapat diestimasi dengan mengalikan nilai klorofil-A yang diperoleh dengan faktor penyetaraan yaitu 83 (Yacobi dan Zohari, 2010). Perhitungan nilai biomassa alga dapat dilihat pada persamaan 2.9.

$$\text{Biomassa alga} = [chl_A] \times 83 \times \frac{1 \text{ gram}}{1000 \text{ mg}} \times A \times H$$

..... 2.9

Keterangan:

[chl_A] = nilai hasil analisis spektrofotometri klorofil-A alga (mg/L)

- A = luasan Boezem kalidami (m²)
 H = rerata kedalaman tumbuh maksimum alga; diperoleh dari uji *secchi depth* (m)

Setelah diketahui total nilai biomassa alga, dapat dilakukan perhitungan potensi laju fiksasi CO₂ oleh alga. Laju fiksasi didapatkan dengan mengalikan nilai biomassa alga dengan faktor konversi 1,92 pada persamaan 2.8. Alga pada kondisi ideal diasumsikan aktif selama 10 jam penyinaran matahari non-stop sehingga diperoleh persamaan 2.10.

$$\text{Laju fiksasi CO}_2 = \text{biomassa alga} \times 1,92 \times \frac{24 \text{ jam/hari}}{10 \text{ jam}}$$

..... 2.10

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan referensi utama yang digunakan pada peneliti ini. Referensi ini memberikan gambaran umum mengenai hal-hal yang dapat dikaji pada penelitian yang akan dilakukan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Gambaran umum yang dimaksud dapat berupa jenis pengamatan yang dilakukan, variasi hasil akhir dari beberapa alternatif metode, jenis uji yang mungkin diperlukan pada penelitian sejenis, serta variasi perlakuan pada subjek penelitian dan kondisi lingkungan selama penelitian.

Hal yang diharapkan dengan mempelajari penelitian terdahulu ialah dapat dilakukan modifikasi data yang diperlukan agar didapatkan hasil akhir yang sesuai hipotesis penelitian. Penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Lokasi	Pembahasan Terkait	Metode	Hasil Penelitian
1	Puspita dan Tangahu, 2018	Boezem Morokembangan Selatan, Kota Surabaya	Potensi emisi gas rumah kaca (GRK)	US Environmental Protection Agency	Potensi emisi total GRK sebesar 5,83 ton CO ₂ /hari dan 2,301 ton CH ₄ /hari yang berasal dari fase suspensi air limbah dan fase <i>digesting</i> lumpur pada boezem yang dibaratkan kolam stabilisasi fakultatif-anaerobik.
2	Perkasa dan Soedjono, 2013	Boezem (Mini) Kalidami, Kota Surabaya	Dominasi genus alga		Alga yang mendominasi berasal dari genus <i>Oscillatoria</i> sp. dan <i>Eucapsis</i> sp. Alga <i>Oscillatoria</i> termasuk jenis alga <i>cyanophyta</i> .

No	Peneliti	Lokasi	Pembahasan Terkait	Metode	Hasil Penelitian
3	Syahputra dkk., 2014	Boezem (Mini) Kalidami, Kota Surabaya	Keragaman alga dan mutu kualitas air	Indeks Keragaman Shannon-Wiener dan Indeks Pencemar (IP)	Keragaman alga sedang dengan nilai indeks keragaman 1,56 dan kualitas air cemar ringan pada dua musim dengan nilai IP 3,38 saat musim hujan dan 4,99 saat musim kemarau
4	Puspita dan Tangahu, 2018	Boezem Morokembangan Selatan, Kota Surabaya	Mitigasi GRK menggunakan alga	Gravimetri, spektrofotometri dan stoikiometri	Potensi serapan CO ₂ oleh alga pada siang hari saat alga aktif melakukan fotosintesis dengan asumsi yang ideal mencapai 31,8% dari total produksi CO ₂ di boezem. Sebaran dan pertumbuhan terlihat dipengaruhi oleh nilai kelarutan oksigen dan kecerahan perairan (<i>secchi depth</i>).

No	Peneliti	Lokasi	Pembahasan Terkait	Metode	Hasil Penelitian
5	Setoaji dan Hermana, 2013	Percobaan laboratorium (sampel air drainase Jl Arief Rachman Hakim, Kota Surabaya)	Pengaruh aerasi dan nutrisi terhadap potensi serapan CO ₂ oleh alga	Gravimetri, spektrofotometri dan stoikiometri	Perbandingan stoikiometri 1 gram sel alga setara dengan 1,92 gram CO ₂ yang diserap. Serapan CO ₂ dipengaruhi penambahan nutrisi dan aerasi. Serapan berturut-turut pada penambahan pupuk urea sebesar (3,84 dan 4,87) mg CO ₂ /hari dan pada penambahan pupuk NPK sebesar (3,01 dan 3,61) mg CO ₂ /hari

No	Peneliti	Lokasi	Pembahasan Terkait	Metode	Hasil Penelitian
6	Fitrianingtyas dan Slamet, 2018	Boezem Morokrembangan Selatan, Kota Surabaya	Potensi akumulasi lumpur	Imhoff cone dan neraca massa	Laju akumulasi lumpur eksisting lebih besar dari perhitungan teoritis. Sebesar 12653,64 m ³ /tahun atau 34,67 m ³ /hari dengan metode imhoff cone dan 5150,04 m ³ /tahun atau 14,11 m ³ /hari dengan metode neraca massa
7	Delre, 2018	Ryaverket WWTP, Denmark	Kontribusi emisi CH ₄ dan N ₂ O	Pendekatan pengukuran langsung on-site	Unit penampung biosolid (anaerobik) berkontribusi sebesar 70% dari emisi total CH ₄ dan unit nitrifikasi trickling filter berkontribusi sebesar 82% dari emisi total N ₂ O

No	Peneliti	Lokasi	Pembahasan Terkait	Metode	Hasil Penelitian
8	Kustiasih dan Medawati, 2017	Indonesia	Perbandingan emisi GRK dari tangki septik dan biofilter aerobik	Gas kromatografi dengan sampel komposit	Emisi CH ₄ dan CO ₂ lebih besar pada kondisi anaerobik. Emisi tangki septik sebesar (1241 dan 5071) mg/L dan emisi biofilter aerobik adalah (17,1 dan 43,5) mg/L

BAB 3 GAMBARAN UMUM WILAYAH PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Wilayah Studi

Kota Surabaya terletak antara 07 21 Lintang Selatan dan 112 36 sampai dengan 112 54 Bujur Timur. Luas wilayah keseluruhan sebesar 326,81 km² terdiri atas 31 kecamatan dan 154 kelurahan. Secara geografis termasuk kawasan pantai berdataran rendah dengan ketinggian rerata 3-6 meter di atas permukaan air laut, kecuali di sebelah selatan dengan ketinggian 25-50 meter di atas permukaan air laut (BPS Kota Surabaya, 2018). Kota Surabaya memiliki batas administratif sebagai berikut:

Sebelah Utara : Selat Madura
Sebelah Timur : Selat Madura
Sebelah Selatan : Kabupaten Sidoarjo
Sebelah Barat : Kabupaten Gresik

Luas wilayah dan jumlah kelurahan tiap kecamatan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Luas Wilayah dan Jumlah Kelurahan tiap Kecamatan di Surabaya

No.	Nama Kecamatan	Luas Wilayah (Km ²)	Jumlah Kelurahan
Surabaya Pusat			
1	Tegalsari	4,29	5
2	Genteng	4,05	5
3	Bubutan	3,86	5
4	Simokerto	2,59	5
Surabaya Utara			
5	Pabean Cantikan	6,8	5
6	Semampir	8,76	5
7	Krembangan	8,34	5
8	Kenjeran	7,77	4
9	Bulak	6,72	4
Surabaya Timur			
10	Tambaksari	8,99	8

No.	Nama Kecamatan	Luas Wilayah (Km ²)	Jumlah Kelurahan
11	Gubeng	7,99	6
12	Rungkut	21,08	6
13	Tenggilis Mejoyo	5,52	4
14	Gunung Anyar	9,71	4
15	Sukolilo	23,68	7
16	Mulyorejo	14,21	6
Surabaya Selatan			
17	Sawahan	6,93	6
18	Wonokromo	8,47	6
19	Karangpilang	9,23	4
20	Dukuh Pakis	9,94	4
21	Wiyung	12,46	4
22	Wonocolo	6,77	5
23	Gayungan	6,07	4
24	Jambangan	4,19	4
Surabaya Barat			
25	Tandes	11,07	6
26	Sukomanunggal	9,23	6
27	Asemrowo	15,44	3
28	Benowo	23,73	4
29	Pakal	22,07	6
30	Lakarsantri	18,99	4
31	Sambikerep	23,68	4
Total		326,81	154

Sumber: Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2018

3.2 Jumlah dan Persebaran Penduduk

Surabaya merupakan kota dengan jumlah penduduk terbesar di Jawa Timur yaitu 3.074.863 jiwa terdaftar pada tahun 2017, terdiri dari 1.534.438 jiwa laki-laki dan 1.540.445 jiwa perempuan (BPS Surabaya, 2018). Persebaran penduduk yang terbanyak terdapat di Kecamatan Tambaksari dan yang terkecil terdapat di Kecamatan Bulak. Tingkat kepadatan penduduk tertinggi terdapat di Kecamatan Sawahan. Jumlah penduduk dan kepadatan penduduk Tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jumlah dan Kepadatan Penduduk tiap Kecamatan di Surabaya

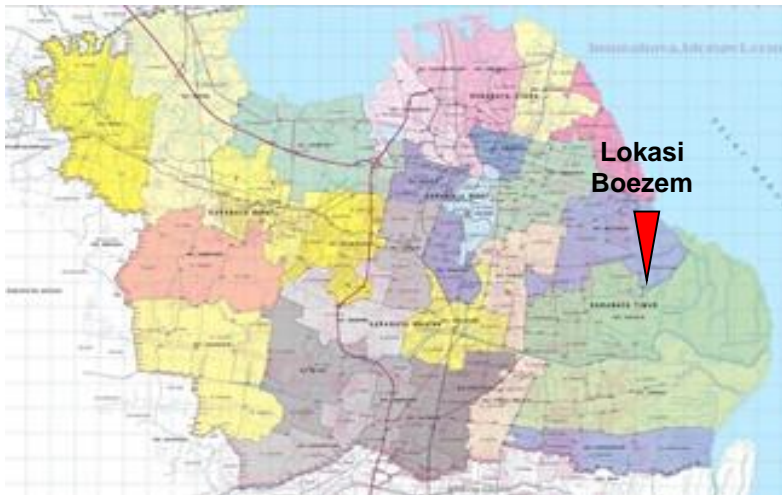
No.	Nama Kecamatan	Penduduk	Luas Wilayah	Kepadatan
		Jiwa	(Km ²)	(Jiwa/Km ²)
Surabaya Pusat				
1	Tegalsari	107070	4,29	24959
2	Genteng	62028	4,05	15316
3	Bubutan	106721	3,86	27648
4	Simokerto	102654	2,59	39635
Surabaya Utara				
5	Pabean Cantikan	85089	6,8	12514
6	Semampir	199578	8,76	22783
7	Krembangan	123750	8,34	14839
8	Kenjeran	167031	7,77	21497
9	Bulak	44576	6,72	6634
Surabaya Timur				
10	Tambaksari	233502	8,99	25974
11	Gubeng	142527	7,99	17839
12	Rungkut	115501	21,08	5480
13	Tenggiling Mejoyo	59149	5,52	10716
14	Gunung Anyar	57806	9,71	5954
15	Sukolilo	113551	23,68	4796
16	Mulyorejo	88946	14,21	6260
Surabaya Selatan				
17	Sawahan	214252	6,93	30917
18	Wonokromo	169074	8,47	19962
19	Karangpilang	75433	9,23	8173
20	Dukuh Pakis	62391	9,94	6277
21	Wiyung	71740	12,46	5758
22	Wonocolo	83735	6,77	12369
23	Gayungan	47286	6,07	7791
24	Jambangan	51888	4,19	12384
Surabaya Barat				
25	Tandes	94626	11,07	8548
26	Sukomanunggal	104932	9,23	11369
27	Asemrowo	48188	15,44	3121
28	Benowo	64186	23,73	2705

No.	Nama Kecamatan	Penduduk	Luas Wilayah	Kepadatan
		Jiwa	(Km ²)	(Jiwa/Km ²)
29	Pakal	58804	22,07	2665
30	Lakarsantri	54953	18,99	2894
31	Sambikerep	63836	23,68	2696
Total		3074883	326,81	9409

Sumber: Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2018

3.3 Boezem Kalidami

Pada penelitian ini, lokasi penelitian adalah Boezem Kalidami atau pintu air Kalidami yang termasuk dalam jaringan drainase Rayon Gubeng. Saluran Kalidami terletak di Surabaya Timur, membentang sepanjang 4,2 km dengan lebar 18-40 meter dan melayani 3 (tiga) kecamatan, yakni Kecamatan Gubeng, Kecamatan Mulyorejo, dan Kecamatan Sukolilo. Boezem Kalidami merupakan muara dari saluran primer Kalidami.



Gambar 3.1 Lokasi Boezem Kalidami pada Peta Surabaya

Sumber: Wikipedia.org, 2019

Boezem yang berada di Kecamatan Mulyorejo ini memiliki luas sekitar 2,7 hektare dan kedalaman berkisar 2 - 4 meter (DPUBMP Surabaya, 2014). Lokasi penelitian berada di kecamatan mulyorejo dan berdekatan dengan perbatasan kecamatan sukolilo. Pada lokasi penelitian juga ditentukan titik sampling dengan pertimbangan tertentu dan dapat dilihat di bab 4 tentang teknis penelitian. Lokasi boezem pada peta digambarkan secara sederhana dengan menunjukkan prakiraan titik dapat dilihat pada gambar 3.1.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

METODE PENELITIAN

4.1 Kerangka Penelitian

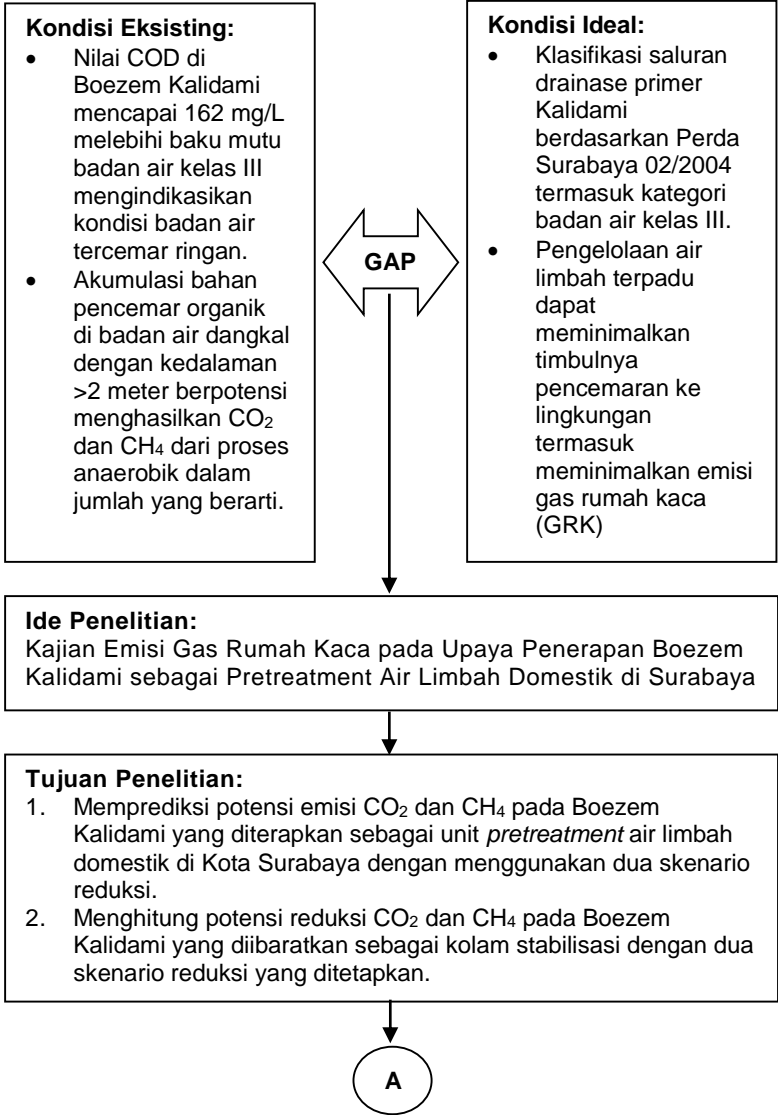
Kerangka penelitian dibuat untuk mengkaji metode yang digunakan selama melakukan penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi emisi gas rumah kaca (GRK), yaitu metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Setelah diketahui emisi yang dihasilkan, dicari pula potensi reduksi berdasarkan dua skenario reduksi yang ditentukan berdasarkan kemudahan penerapannya. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui potensi penggunaan boezem sebagai *pretreatment* air limbah domestik di Kota Surabaya agar dapat direncanakan pengelolaan yang lebih baik.

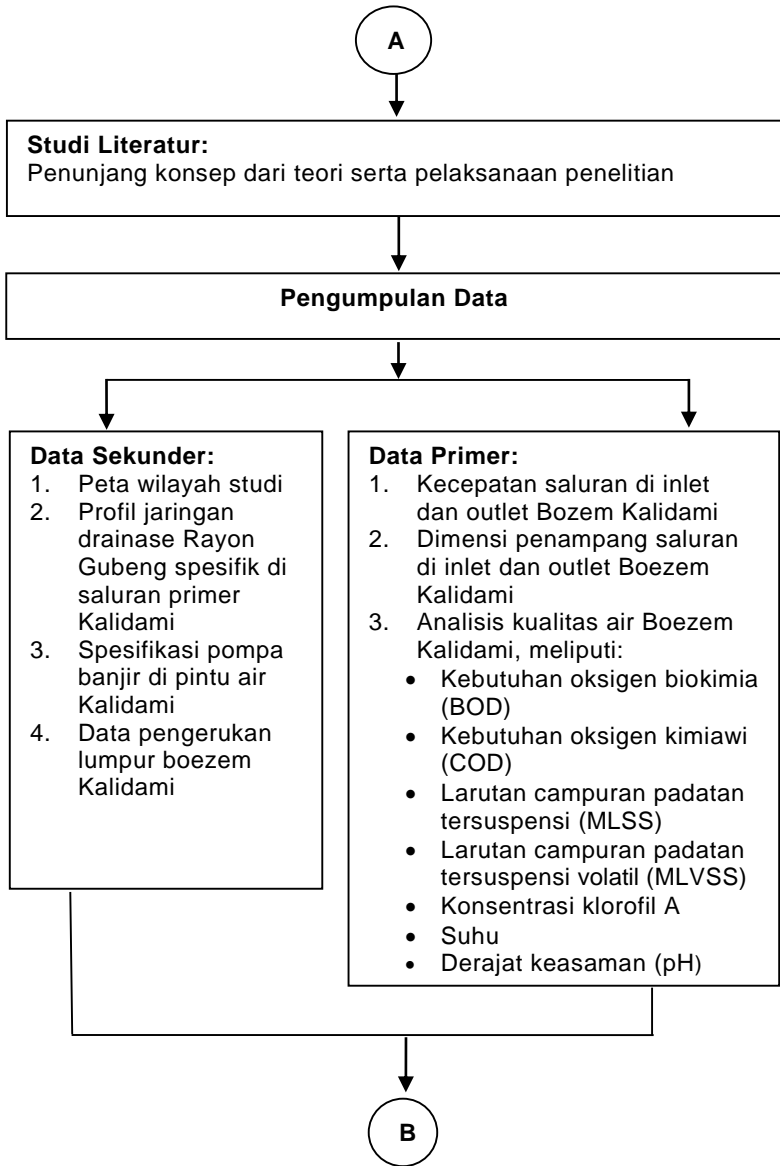
Penelitian ini didasarkan pada kerangka penelitian yang terdiri dari "GAP" antara kondisi ideal dan kondisi realita sehingga dapat dirumuskan permasalahan yang akan dikaji. Selanjutnya kondisi ini dirumuskan dan ditentukan pula tujuan dari penelitian yang akan dilakukan. Langkah utama dalam penelitian ini adalah menghitung laju potensi emisi gas rumah kaca menggunakan persamaan untuk mengestimasi gas rumah kaca pada unit pengolahan air limbah dari US. EPA pada tahun 2010.

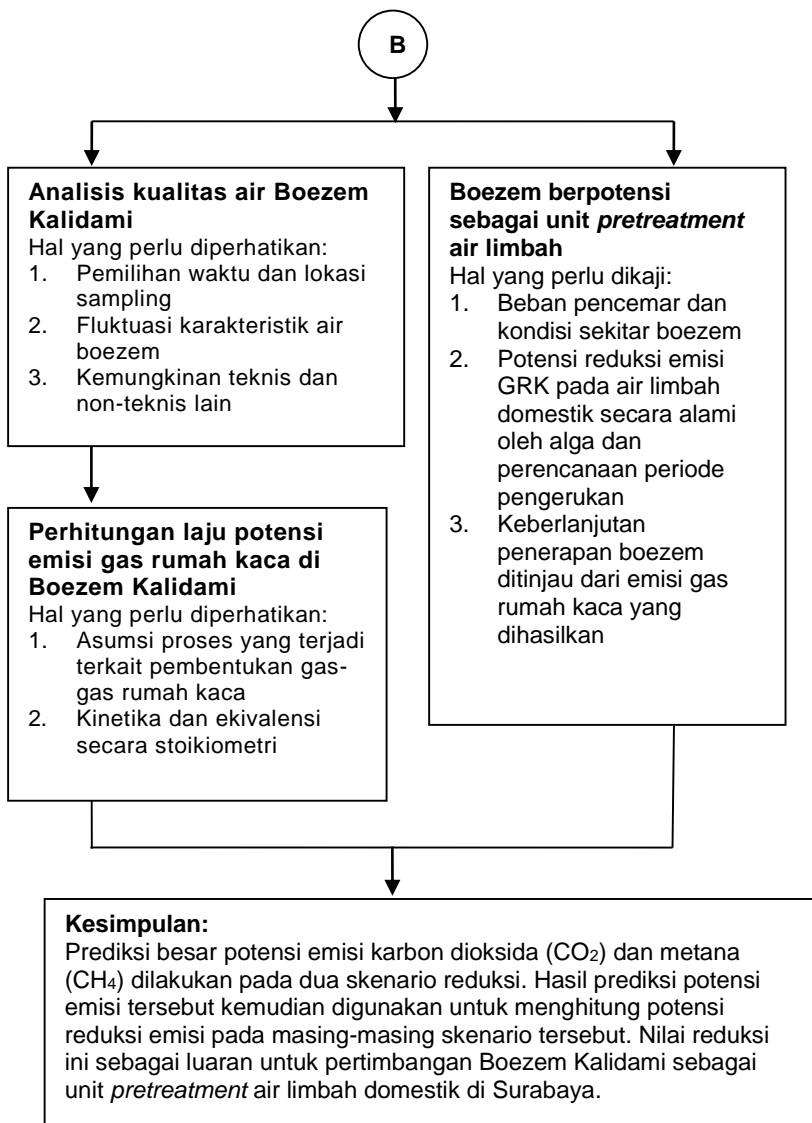
Nilai laju potensi emisi CO_2 dan CH_4 ini diperoleh dari korelasi nilai hasil uji BOD, COD, MLSS, dan MLVSS yang menggambarkan kandungan zat organik pada Boezem Kalidami dengan persamaan yang digunakan. Nilai ini merupakan pendekatan stoikiometri yang ekuivalen dengan besarnya metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) yang terbentuk. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data yang terdiri dari data primer dan data sekunder. Lalu dilakukan analisis data dan pembahasan, hingga pada tahap akhir dari penelitian ini adalah berupa penarikan kesimpulan. Alur kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.

4.2 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain data sekunder dan data primer. Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari studi literatur, penelitian terdahulu, instansi peme-







Gambar 4.1 Alur Kerangka Penelitian

-rintah maupun organisasi/ badan lain. Sedangkan pengumpulan data primer dilakukan pada saat penelitian berlangsung, didapatkan melalui pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan maupun melalui analisis laboratorium.

4.2.1 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat diperoleh dari berbagai instansi pemerintah yang terkait seperti Badan Informasi Geospasial, Dinas PU Bina Marga dan Pematusan atau dan sumber terkait lainnya. Data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Peta wilayah studi,
2. Profil saluran drainase primer Kalidami termasuk Boezem Kalidami (jika ada),
3. Spesifikasi pompa banjir di pintu air Kalidami,
4. Data pengerukan lumpur boezem Kalidami.

4.2.2 Pengumpulan Data Primer

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data primer adalah dengan melakukan pengukuran dan pengamatan langsung di Boezem Kalidami dan pengujian laboratorium untuk mengetahui kualitas air di Boezem. Kegiatan terkait yang dilakukan meliputi:

1. Pengukuran kecepatan aliran saluran
2. Pengukuran penampang saluran pada inlet dan outlet Boezem Kalidami.

Uji parameter kualitas air, meliputi:

1. Chemical Oxygen Demand (COD),
2. Biochemical Oxygen Demand (BOD),
3. Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS),
4. Mixed Liquor Volatile Suspended Solid (MLVSS),
5. Klorofil – A untuk alga
6. Suhu,
7. pH.

4.3 Pelaksanaan Penelitian

Hal pertama yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian adalah menentukan lokasi penelitian. Setelah itu, mulai dilakukan pengumpulan data yang terdiri dari studi literatur, pengumpulan data sekunder dan data primer. Setelah didapatkan data-data

tersebut, dilakukan analisis data dan pembahasan, hingga diperoleh kesimpulan dari penelitian dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya

4.3.1 Lokasi Penelitian

Pada penelitan ini lokasi ditentukan berdasarkan topik yang dikaji yaitu di Boezem Kalidami Surabaya. Penentuan prakiraan lokasi digunakan untuk memberikan gambaran besar kondisi di sekitar lokasi seperti letak jalan, jembatan, maupun fasilitas penunjang lain yang dapat dimanfaatkan untuk mempermudah kegiatan sampling. Titik sampling utama berada di inlet dan outlet boezem. Ditentukan pula 3 titik acak yang sejajar di tepi boezem khusus sampling alga. Lokasi sampling rencana dapat dilihat pada gambar 4.2 dan tabel 4.1.



Gambar 4.2 Citra Satelit Lokasi Sampling

Sumber: Google Earth, 2019

4.3.2 Metode Pengukuran Debit di Saluran

Pengukuran debit dilakukan hanya pada saluran primer Kalidami yakni pada inlet Boezem Kalidami dan pada outlet Boezem Kalidami. Pengukuran debit saluran dilakukan dengan 2 cara. Cara pertama yaitu mengacu pada Standar Nasional Indone-

Tabel 4.1 Penentuan Prakiraan Titik Lokasi Sampling

Titik Sampling	Koordinat	Keterangan
1	7 16' 26,8" LS 112 48' 02,8" BT	Inlet Boezem
2	7 16' 26,8" LS 112 48' 14,6" BT	Outlet Boezem

Keterangan:

Titik sampling 1 dan 2 berada di atas jembatan

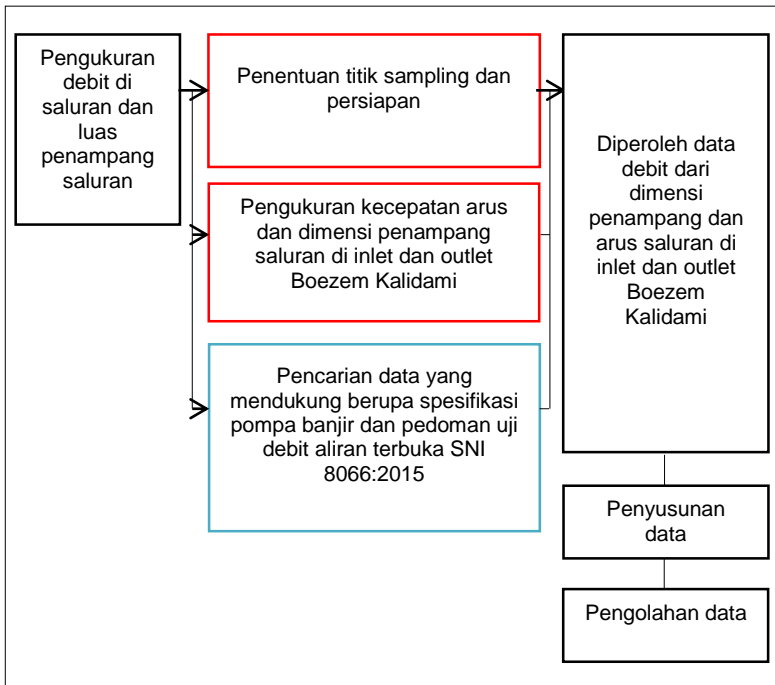
sia (SNI) 8066:2015 tentang tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung. Sedangkan cara kedua menggunakan data sekunder dari spek pompa banjir yang digunakan. Keduanya dapat saling dibandingkan, namun apabila pompa banjir tidak dinyalakan saat terjadi arus balik air laut (*coastal backwater*) maka cara pertama tidak dapat dilakukan.

Alat yang digunakan untuk mengukur debit adalah pelampung untuk mengukur kecepatan aliran air, meteran untuk mengukur lebar saluran, tali dengan pemberat yang telah ditandai untuk mengukur kedalaman saluran dan *stopwatch* untuk menandai waktu pengukuran. Nilai penampang basah didapatkan dari pengukuran lebar saluran dan kedalaman saluran. Diperlukan segmentasi saluran agar didapatkan rerata debit yang mewakili keseluruhan lebar saluran. Hasil pengukuran kemudian digunakan untuk perhitungan debit aliran yang masuk ke Boezem kalidami yang berasal dari saluran primer kalidami. Perhitungan debit air saluran mengacu pada persamaan 2.1 dan prosedur pengukuran debit saluran dapat dilihat pada lampiran A.

4.3.3 Metode Pengambilan Sampel Air

Pada pengambilan sampel air di lapangan untuk uji laboratorium, perlu dipastikan peralatan yang digunakan dalam keadaan bersih. Pengambilan sampel dilakukan mengacu pada

SNI 6989.57:2008 tentang Metoda Pengambilan Sampel Air Permukaan. Alat yang digunakan untuk sampling air permukaan adalah botol PET 1,5L 2 buah, botol PET 500mL 2 buah, timba untuk mengambil air 2 buah dilengkapi tali tamar dan pemberat, dan corong plastik.



Gambar 4.3 Kerangka Pengukuran Debit di Saluran dan Dimensi Penampang Saluran

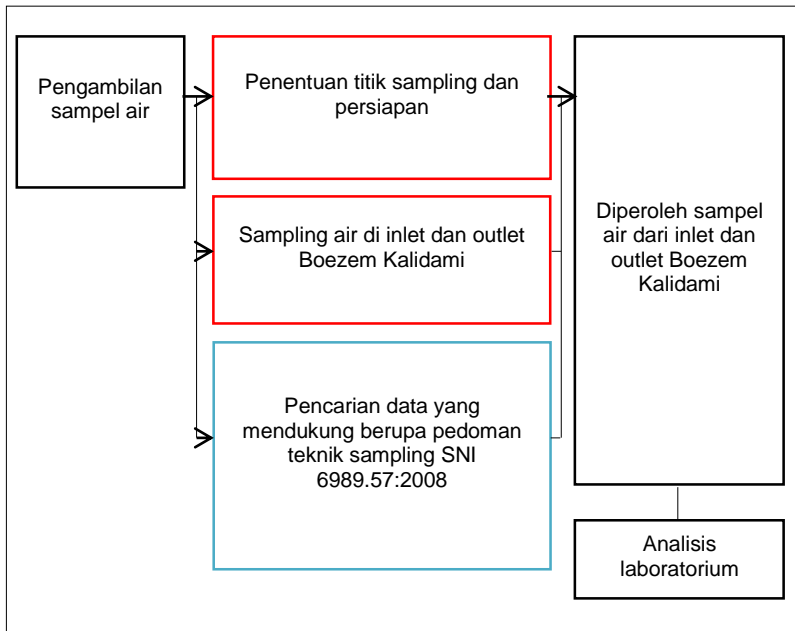
Keterangan :

— Data Sekunder

— Data Primer

Pada sampling untuk penelitian ini, digunakan teknik komposit (*composite*) pada saluran inlet Boezem kalidami karena

lebar saluran lebih dari 20 meter. Hal ini dilakukan agar sampel yang digunakan mewakili kualitas dari keseluruhan lebar saluran. Ditentukan tiga titik yang masing-masing diambil sampel airnya kemudian dihomogenkan dalam satu wadah sebelum dimasukkan ke dalam botol plastik.



Gambar 4.4 Kerangka Pengambilan Sampel Air

Keterangan :

- Data Sekunder
- Data Primer

Khusus untuk uji alga, diperlukan tambahan sampel komposit sepanjang boezem agar didapatkan pula data yang mewakili keseluruhan boezem. Ditetapkan 3 titik yang sejajar di kedua sisi untuk kemudahan dengan pertimbangan durasi

sampling karena uji alga cukup sensitif jika terkena sinar berlebihan. Pada uji alga akan didapatkan data komposit inlet, komposit outlet, dan komposit tepi boezem yang kemudian hasilnya dirata-rata.

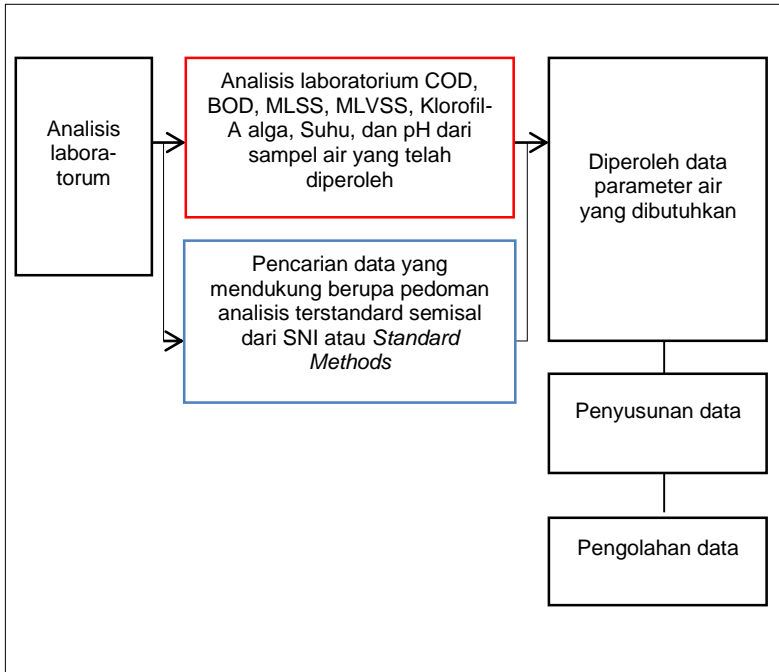
Langkah memasukkan sampel air dalam botol plastik dapat dilakukan dengan dua cara. Pertama adalah dengan menuangkan air ke dalam botol plastik hingga penuh dan tidak ada gelembung udara yang tersisa kemudian botol plastik ditutup dengan rapat. Kedua adalah dengan mencelupkan botol plastik langsung ke badan air hingga terendam seluruhnya dan tidak ada gelembung udara yang tersisa kemudian botol ditutup rapat saat keadaan terendam seluruhnya. Penulis memilih cara pertama menyesuaikan kondisi di lapangan.

Pelaksanaan sampling air dilaksanakan secara time series selama 5 hari berturut-turut. Dilakukan hanya 1 kali sampling per hari dengan mempertimbangkan waktu kiriman air dari hulu saluran primer Kalidami, penggunaan pompa banjir dan pintu air, serta arah angin yang menuju ke laut sebagai asumsi arus balik (*coastal backwater*) minimum. Prosedur pengambilan sampel air yang dilakukan dapat dilihat pada lampiran A.

4.3.4 Metode Analisis Laboratorium

Setelah didapatkan sampel air dari lapangan, dilakukan uji laboratorium pada parameter kualitas air yang telah ditentukan. Analisis laboratorium sedapat mungkin dilakukan pada hari yang sama dengan waktu pengambilan sampel air. Sampel air perlu diawetkan agar tidak terjadi reaksi yang tidak diinginkan sehingga mengurangi ketepatan penelitian.

Parameter kualitas air yang diuji meliputi BOD, COD, MLSS, MLVSS, Klorofil-A, suhu, dan pH. Masing-masing parameter saling dapat dikaitkan satu sama lain sehubungan dengan reaksi-reaksi penguraian air limbah domestik dan pembentukan gas-gas rumah kaca. Hasil analisis kemudian direkapitulasi untuk langkah selanjutnya yaitu estimasi potensi emisi gas rumah kaca. Prosedur analisis laboratorium yang dilakukan dapat dilihat pada lampiran A.



Gambar 4.5 Kerangka Analisis Laboratorium

Keterangan :

———— Data Sekunder

———— Data Primer

4.3.4.1 Analisis BOD dan COD

Nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mikroorganismenya dalam menguraikan atau mengoksidasi hampir semua zat organik yang tersuspensi dalam air. Pada penelitian ini digunakan metode analisis titimetri untuk menentukan nilai BOD₅, yaitu dengan memasukkan sampel ke dalam botol Winkler hingga penuh dan meluap kemudian botol Winkler ditutup dengan hati-hati. Penutupan ini bertujuan agar tidak ada udara yang terperangkap

didalamnya. Selanjutnya adalah diinkubasi selama 5 hari. Kadar oksigen terlarut dianalisa pada hari ke-0 dan hari ke-5. BOD₅. Nilai BOD₅ merupakan selisih DO pada hari ke-0 dan ke-5.

COD (*Chemical Oxygen Demand*) menunjukkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) ataupun yang sukar didegradasi secara biologis (*non biodegradable*) menjadi CO₂ dan H₂O. Pada prosedur penentuan nilai COD, oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi sampel. Nilai COD di sini diasumsikan secara stoikiometri ekivalen pada jumlah tertentu dengan CO₂ dan CH₄ yang dihasilkan. Analisis COD menggunakan metode *open reflux* dan titimetri.

4.3.4.2 Analisis MLSS dan MLVSS

Pengukuran MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solids*) dan MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solids*) digunakan untuk mengukur konsentrasi biomassa pada sampel, analisis ini menggunakan metode analisis yang sama dengan TSS dan TVSS secara gravimetri. Nilai MLSS dan MLVSS perlu diketahui untuk membedakan reaksi-reaksi kimia-biologis. Hal ini disebabkan karena nilai yang didapatkan akan dijadikan rujukan untuk mengestimasi potensi emisi gas rumah kaca yang ekivalen dengan nilai COD sampel. Reaksi penguraian air limbah domestik yang diharapkan merujuk pada aktivitas oksidasi oleh mikroorganisme fakultatif-anaerob.

4.3.4.4 Analisis klorofil-A untuk alga

Pengukuran nilai konsentrasi klorofil-A untuk alga digunakan untuk mengetahui kemampuan fotosintesis alga. Nilai ini kemudian dikonversikan ke persamaan stoikiometri berdasarkan parameter yg dibutuhkan, yaitu kebutuhan CO₂ sel. Terdapat 5 jenis klorofil tanaman yaitu klorofil A hingga E. Namun yang paling dominan dan utama untuk jenis alga hijau dan hijau-biru adalah klorofil A dan B.

Analisis klorofil A dan B menggunakan metode standard spektrofotometri untuk penentuan konsentrasi klorofil pada panjang gelombang 630-670 nm. Dominasi genus alga di Boezem Kalidami adalah alga hijau-biru *Oscillatoria* sp., sehingga cukup dilakukan

analisis klorofil-A atau dan klorofil-B untuk alga. Prosedur analisis klorofil-A untuk alga dapat dilihat di lampiran.

4.3.4.4 Analisis suhu dan pH

Analisis suhu dan pH berperan sebagai pendukung data parameter lainnya. Jenis reaksi tertentu memiliki rentang suhu dan pH yang spesifik. Keterkaitan reaksi pada sampel air limbah domestik yang diteliti tidak lepas dari pengaruh suhu dan pH, sehingga analisis suhu dan pH perlu dilakukan. Analisis suhu menggunakan metode analisis termometri menggunakan termometer kontak secara langsung di lapangan, sedangkan analisis pH menggunakan metode konduktivimetri menggunakan pH meter di laboratorium. Sensor harus dikalibrasi secara berkala menggunakan buffer pH yang sesuai dengan standard yang berlaku, pemilihan ditentukan oleh analis.

4.4 Analisis Data dan Pembahasan

Berdasarkan data primer dan sekunder yang telah diperoleh, dapat dilakukan analisis dan pembahasan. Terdapat 2 sub analisis dan pembahasan, pertama yaitu skenario prediksi potensi emisi CO₂ dan CH₄ di Boezem Kalidami dan kedua yaitu rencana upaya mitigasi pada penerapan Boezem Kalidami sebagai *pretreatment* air limbah domestik di Surabaya.

4.4.1 Prediksi Potensi Emisi CO₂ dan CH₄ di Boezem Kalidami Menggunakan 2 Skenario Reduksi

Perhitungan potensi emisi gas rumah kaca berupa CO₂ dan CH₄ digunakan pendekatan model rumus oleh US.EPA dalam panduan metodologi untuk mengestimasi emisi biogenik pada tahun 2010. Persamaan umum yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, dan 2.6. Persamaan ini digunakan dengan mengasumsikan Boezem Kalidami sebagai suatu kolam stabilisasi yang didalamnya terdapat proses degradasi air limbah secara sempurna baik secara aerobik maupun anaerobik (fakultatif-anaerobik).

Diasumsikan bahwa di dalam boezem terdapat proses *digesting* (pada kondisi anaerobik) pada lumpur yang mengendap. Lumpur yang mengendap berfungsi sebagai substrat atau makanan yang dapat menghasilkan emisi CO₂ dan CH₄. Menurut

Al-Hashimi dan Hussain (2013) kondisi anaerobik dapat dicapai pada kedalaman kolam 2 - 5 meter. Boezem Kalidami memiliki kedalaman berkisar 2 - 4 meter sehingga dapat digunakan perhitungan potensi emisi gas rumah kaca berupa CO₂ dan CH₄ dengan pendekatan persamaan 2.5 dan 2.6 pada proses *digesting* lumpur di dalam Boezem Kalidami.

Dilakukan perhitungan potensi emisi gas rumah kaca dengan 2 skenario reduksi. Skenario pertama yaitu potensi emisi CO₂ dan CH₄ ketika memanfaatkan alga yang tumbuh alami di boezem. Selanjutnya skenario kedua yaitu potensi emisi CO₂ dan CH₄ ketika merencanakan periode pengerukan lumpur di boezem. Kedua skenario ini dipilih dengan pertimbangan kemudahan dalam penerapan di Boezem Kalidami.

Pada kedua skenario tersebut, dilakukan pula perhitungan pada 2 kasus. Kasus pertama merupakan kondisi eksisting menggunakan data parameter hasil uji hasil pengukuran. Sedangkan kasus kedua yaitu potensi emisi pada kondisi sesuai peraturan baku mutu badan air kelas III sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

Kedua perhitungan ini perlu dilakukan untuk mengantisipasi kondisi tidak ideal pada Boezem Kalidami ketika kolam stabilisasi tidak mampu melakukan fungsinya mereduksi polutan. Kondisi ini terjadi ketika outlet boezem memiliki kualitas yang lebih buruk daripada inletnya sehingga diperlukan asumsi pada kondisi sesuai baku mutu yang terkait sebagai pembanding. Berdasarkan persamaan 2.2 sampai 2.6, dapat dijabarkan langkah perhitungan total emisi CO₂ dan CH₄ pada Boezem Kalidami sebagai berikut:

1. Mencari nilai efisiensi removal oxygen demand sebagai BOD (%RE_{BOD}).
2. Mencari beban massa lumpur (C_{IMLSS})
3. Mencari laju akumulasi lumpur tersuspensi (Qs).
4. Mencari yield biomassa (λ).
5. Mencari emisi CO₂ dan CH₄ pada proses degradasi di suspensi air limbah pada tiap skenario dan kasus.
6. Mencari emisi CO₂ dan CH₄ pada proses degradasi lumpur (*digesting*) pada tiap skenario dan kasus.

- Menghitung potensi total emisi CO₂ dan CH₄ di Boezem Kalidami pada tiap skenario dan kasus.

Tabel 4.2 Skenario Reduksi dari Prediksi Potensi Emisi CO₂ dan CH₄ yang Dihasilkan Boezem Kalidami

Estimasi	Deskripsi	Luaran
Skenario 1	Potensi emisi pada upaya memanfaatkan alga	Potensi reduksi emisi menggunakan mekanisme fiksasi CO ₂ pada proses fotosintesis oleh alga di boezem
Skenario 2	Potensi emisi pada upaya perencanaan periode pengerukan lumpur	Potensi reduksi emisi menggunakan pendekatan waktu tinggal lumpur (sebagai waktu pengerukan lumpur) di boezem

Pada skenario 2, dibutuhkan data sekunder berupa akumulasi volumetrik dari pengerukan lumpur. Data ini kemudian dimodifikasi sehingga dapat dilakukan perhitungan emisi. Data akumulasi volumetrik pengerukan lumpur Boezem Kalidami dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Akumulasi Volumetrik Pengerukan Lumpur Boezem Kalidami Tahun 2014-2018

No	Tahun	Ritasi (truk/ tahun)	Vol truk (m ³ / truk)	Akumulasi lumpur (m ³ / tahun)
1	2014	3312	6	19872
2	2015	1048	6	6288
3	2016	1046	6	6276
4	2017	1127	6	6762

No	Tahun	Ritasi (truk/ tahun)	Vol truk (m ³ / truk)	Akumulasi lumpur (m ³ / tahun)
5	2018	383	6	2298
Rata-rata				8299.2
Rerata dev				5406

Sumber: DPUBMP Kota Surabaya, 2018

Terlihat bahwa data harus terus diperbarui setiap tahun karena kualitas air yang berfluktuasi tiap tahunnya. Data yang didapatkan menghasilkan kecenderungan penurunan jumlah lumpur yang dikeruk. Hal ini belum dapat diketahui apakah manajemen kualitas saluran primer Kalidami semakin baik atau semakin buruk. Uji parameter air spesifik yang berkaitan dengan lumpur seperti TSS (MLSS) dan TVS (MLVSS) perlu dilakukan sebelum dapat menyimpulkannya.

4.4.2 Prediksi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca pada Skenario yang Ditentukan

Setelah didapatkan laju potensi emisi gas rumah kaca pada skenario yang telah ditetapkan, kemudian dikaji potensi reduksi dari hasil perhitungan tersebut. Hasil perhitungan ini kemudian dibandingkan dengan data laporan inventarisasi emisi GRK sub bidang air limbah provinsi Jawa Timur dari Dirjen PPI KemenLHK tahun 2018. Setelah dibandingkan akan diketahui persentase sederhana (non-statistik) kontribusi Boezem Kalidami terhadap emisi total GRK bidang air limbah domestik di Jawa Timur. Apabila didapatkan perbandingan nilai <5%, disarankan dapat dilakukan penelitian ulang pada boezem lain untuk dibandingkan dan diuji kelayakannya secara lebih statistik sehingga boezem dapat diterapkan sebagai kolam stabilisasi secara masif.

Pada perumpamaan boezem atau kolam retensi air hujan sekaligus sebagai kolam stabilisasi fakultatif-anaerobik, dapat ditonjolkan potensi alga yang tumbuh secara alami untuk mereduksi emisi karbon dioksida (CO₂) melalui mekanisme fiksasi. Selain itu dapat dilakukan prediksi perencanaan periode pengerukan agar dapat mereduksi pelepasan metana (CH₄) ke

udara. Perhitungan potensi fiksasi CO₂ oleh alga dilakukan dengan membandingkan besarnya nilai biomassa alga di boezem dari sampel air boezem dengan kebutuhan CO₂ fotosintesis secara stoikiometri sederhana mengacu pada persamaan 2.9 dan 2.10.

Nilai biomassa diketahui dengan mengukur nilai klorofil-A alga di boezem dikalikan dengan luasan Boezem Kalidami dan nilai rata-rata kedalaman tumbuh maksimum dari alga. Merujuk pada penelitian sebelumnya melalui pengukuran *secchi depth*, alga yang tumbuh secara alami memiliki nilai rata-rata kedalaman tumbuh maksimum 0,39 m dari permukaan air. Diketahui pula bahwa alga pada pendekatan kondisi ideal dapat mereduksi hingga 30% CO₂ yang terbentuk di badan air pada saat aktif melakukan fotosintesis (Puspita dan Tangahu, 2018).

Berbeda dengan CO₂, metana (CH₄) sangat sulit untuk direduksi secara alami melalui mekanisme oksidasi bakteri pemakan metana ataupun pembentukan senyawa hidrat-metana pada perairan < 50m di wilayah tropis seperti Indonesia (Ruppel, 2011; Van Amstel, 2012; Van Winden dkk., 2012). Perlu dilakukan upaya buatan dengan melakukan pengerukan secara berkala untuk membatasi jumlah maksimum produksi lumpur yang berpotensi membentuk CH₄ sehingga produksi CH₄ dapat diminimalkan. Digunakan patokan waktu tinggal maksimum 50 hari sebagai waktu optimum pembentukan CH₄ (de Mes dkk., 2018).

Berdasarkan perhitungan total emisi CO₂ dan CH₄ yang dihasilkan Boezem Kalidami pada perhitungan sebelumnya, dapat dicari upaya mitigasi reduksi emisi CO₂ dan CH₄ melalui langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Menghitung total biomassa alga di Boezem Kalidami.
2. Menghitung potensi laju fiksasi CO₂ oleh alga.
3. Menghitung reduksi CO₂ dari laju fiksasinya oleh alga.
4. Menghitung potensi reduksi metana pada penentuan waktu tinggal lumpur sebagai periode pengerukan.
5. Menghitung kebutuhan ritasi truk berdasarkan data pengerukan sebelumnya.

4.5 Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran yang merupakan tahapan terakhir dari penulisan tugas akhir ini.

Kesimpulan menyatakan ringkasan dari hasil penelitian yang menjawab tujuan penelitian. Saran menyatakan evaluasi dan perbaikan untuk pelaksanaan penelitian lebih lanjut. Kesimpulan yang dihasilkan yakni informasi meliputi :

1. Prediksi potensi emisi CO₂ dan CH₄ yang terbentuk di Boezem Kalidami pada 2 skenario reduksi.
2. Prediksi reduksi emisi CO₂ dan CH₄ yang terbentuk di Boezem Kalidami pada kedua skenario yang telah ditentukan.

BAB 5

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengukuran Lapangan dan Hasil Uji Laboratorium

Pengukuran lapangan dan uji laboratorium dilakukan untuk mendapatkan data yang digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Data yang dibutuhkan dari pengukuran lapangan seperti debit air Boezem Kalidami, sedangkan data yang dibutuhkan untuk uji laboratorium seperti COD, BOD, MLSS, MLVSS, konsentrasi klorofil-A, suhu, dan pH, serta ditambah parameter tambahan salinitas dan DO sebagai data pendukung untuk penelitian ini dengan cakupan tidak spesifik (umum). Hasil dari pengukuran lapangan dan uji laboratorium kemudian dapat dilihat keterkaitannya secara visual (empiris) pada pengamatan antar satu parameter dengan parameter lainnya.

5.1.1 Hasil Pengukuran Debit Air Boezem Kalidami

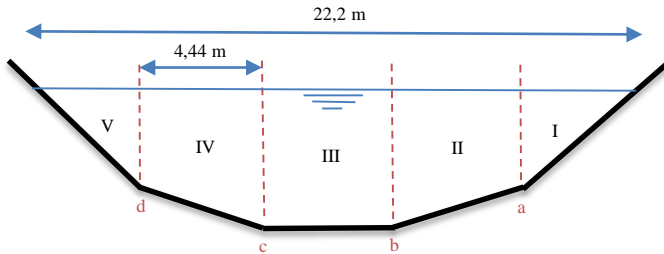
Pengukuran debit air Boezem Kalidami terdiri atas debit masuk (inlet) dan keluar (outlet) boezem. Besarnya debit air diperlukan untuk mengetahui prediksi potensi emisi gas rumah kaca pada Boezem Kalidami sebagai air limbah yang terkonversi sempurna menjadi CO₂ dan CH₄. Pengukuran debit air boezem dilakukan selama 5 hari berturut-turut pada 2 Desember 2019 hingga 6 Desember 2019 pada saat dibukanya pintu air Kalidami. Perlu diketahui, penulis mempertimbangan apabila terjadi aliran balik (*coastal backwater*) air laut maka tidak dilakukan pengukuran pada hari tersebut sehingga sangat dimungkinkan terjadinya kekurangan data.

Inlet Boezem Kalidami adalah saluran Primer Kalidami yang dimulai dari Kecamatan Gubeng, sedangkan outlet Boezem adalah saluran lanjutan menuju ke laut yang dibatasi oleh pintu air untuk mencegah *coastal backwater* tadi serta untuk menahan air di boezem agar berada pada level muka air psikologis sesuai prosedur. Level muka air psikologis dijaga tidak boleh kurang dari 2 meter dari dasar boezem untuk mencegah bau dari aktivitas *digesting* dari akumulasi lumpur di dasar Boezem Kalidami.

Pengukuran debit ini mengacu pada SNI 8066:2015 tentang tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran

terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung. Pengukuran debit dilakukan secara tidak langsung yaitu melalui pengukuran kecepatan saluran dan luas penampang saluran, kemudian debit dapat dicari mengikuti persamaan 2.1. Pengukuran kecepatan saluran menggunakan pelampung manual mengikuti acuan yang telah disebutkan, sedangkan pengukuran penampang basah dilakukan dengan membagi saluran menjadi beberapa segmen.

Segmentasi sungai/ saluran, dalam hal ini saluran, diperlukan untuk merepresentasikan keadaan dari keseluruhan lebar saluran tersebut. Pada masing-masing segmen perlu dilakukan pengukuran kedalaman muka air sehingga dapat dicari besarnya luas penampang basah saluran perhitungan. Pada masing-masing segmen pula dilakukan pengukuran kecepatan rata-rata aliran air saluran. Setelah didapatkan data tersebut, kemudian diakumulasi tiap segmennya sehingga didapatkan keseluruhan debit dari satu saluran.



Gambar 5.1 Penggambaran Segmentasi Saluran Inlet Boezem Kalidami

Segmentasi dilakukan pada inlet dan outlet Boezem Kalidami. Inlet boezem dibagi menjadi 5 segmen, sedangkan outlet boezem menyesuaikan berapa banyak pintu air yang dibuka saat pengukuran dengan pertimbangan ukuran lebar pintu air yang tipikal. Pada inlet, pengukuran luas penampang tiap segmen dapat sedikit berbeda mengikuti kontur dasar saluran. Pendekatan yang paling mudah dilakukan adalah mengikuti prinsip bentuk segitiga (segmen 1 dan 5) dan trapesium (segmen 2,3 dan 4) dapat dilihat pada gambar 5.1.

Berikut merupakan contoh perhitungan luas penampang saluran pada inlet dan outlet Boezem Kalidami pada hari pertama

pengukuran. Tabulasi kedalaman, kecepatan, dan debit saluran tiap segmen dapat dilihat pada tabel 5.1 dan tabel 5.2. Selanjutnya grafik fluktuasi debit inlet dan outlet boezem selama pengukuran dapat dilihat pada gambar 5.2.

I. Perhitungan Luas Penampang Basah Inlet

Segmen 1

$$A = \frac{1}{2} \times w \text{ saluran} \times \text{kedalaman titik a}$$

$$A = \frac{1}{2} \times 4,44 \text{ m} \times 0,50 \text{ m} = 1,110\text{m}^2$$

Segmen 2

$$A = \frac{1}{2} \times w \text{ saluran} \times (\text{kedalaman titik a} + \text{kedalaman titik b})$$

$$A = \frac{1}{2} \times 4,44 \text{ m} \times (0,50 \text{ m} + 1,00 \text{ m}) = 3,552\text{m}^2$$

Segmen 3

$$A = \frac{1}{2} \times w \text{ saluran} \times (\text{kedalaman titik c} + \text{kedalaman titik d})$$

$$A = \frac{1}{2} \times 4,44 \text{ m} \times (1,00 \text{ m} + 0,95 \text{ m}) = 4,551\text{m}^2$$

Segmen 4

$$A = \frac{1}{2} \times w \text{ saluran} \times (\text{kedalaman titik c} + \text{kedalaman titik d})$$

$$A = \frac{1}{2} \times 4,44 \text{ m} \times (0,95 \text{ m} + 0,40 \text{ m}) = 2,997\text{m}^2$$

Segmen 5

$$A = \frac{1}{2} \times w \text{ saluran} \times \text{kedalaman titik d}$$

$$A = \frac{1}{2} \times 4,44 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} = 0,888\text{m}^2$$

II. Perhitungan Kecepatan Aliran Inlet

Segmen 1

$$v = k \times \frac{L \text{ ukur}}{t \text{ ukur}} = 0,95 \times \frac{5 \text{ m}}{63 \text{ det}} = 0,0754 \text{ m/det}$$

Segmen 2

$$v = k \times \frac{L \text{ ukur}}{t \text{ ukur}} = 0,95 \times \frac{5 \text{ m}}{60 \text{ det}} = 0,0794 \text{ m/det}$$

Segmen 3

$$v = k \times \frac{L_{ukur}}{t_{ukur}} = 0,95 \times \frac{5 \text{ m}}{64 \text{ det}} = 0,0740 \text{ m/det}$$

Segmen 4

$$v = k \times \frac{L_{ukur}}{t_{ukur}} = 0,95 \times \frac{5 \text{ m}}{65 \text{ det}} = 0,0733 \text{ m/det}$$

Segmen 5

$$v = k \times \frac{L_{ukur}}{t_{ukur}} = 0,95 \times \frac{5 \text{ m}}{75 \text{ det}} = 0,0633 \text{ m/det}$$

Keterangan:

Nilai k merupakan koefisien koreksi atas kecepatan aliran sebagai perbandingan atas hasil pengukuran menggunakan pengukuran manual (pelampung) dengan pengukuran menggunakan alat otomatis. Nilai k sesuai dengan panduan SNI 8066:2015 berkisar di antara 0,5 – 0,98 dan ditetapkan pada perhitungan ini 0,95 dengan pertimbangan aliran air yang relatif sangat lambat.

III. Perhitungan Luas Penampang Basah Outlet

Pintu Air 1 sampai 4 (tipikal)

$$A = \frac{1}{2} \times w \text{ pintu air} \times \text{kedalaman di pintu air}$$

$$A = \frac{1}{2} \times 3,00 \text{ m} \times 1,50 \text{ m} = 4,500 \text{ m}^2$$

IV. Perhitungan Kecepatan Aliran Outlet

Pintu Air 1 (dibuka)

$$v = \frac{L_{ukur}}{t_{ukur}} = \frac{3,5 \text{ m}}{25 \text{ det}} = 0,0473 \text{ m/det}$$

Pintu Air 2 (ditutup)

$$v = \frac{L_{ukur}}{t_{ukur}} = \frac{0 \text{ m}}{0 \text{ det}} = 0,0000 \text{ m/det}$$

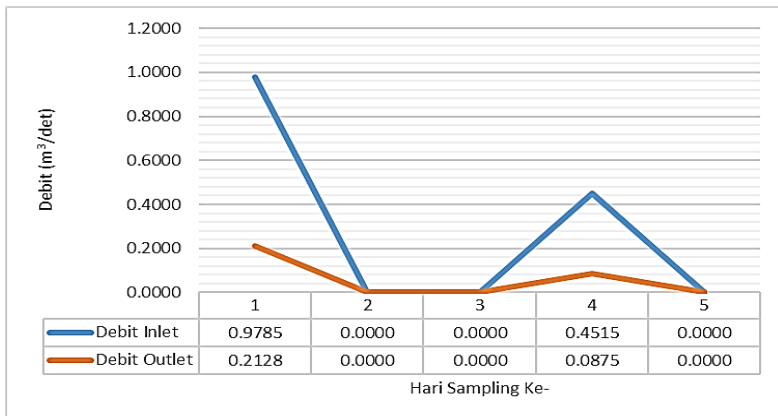
Pintu Air 3 (ditutup)

$$v = \frac{L_{ukur}}{t_{ukur}} = \frac{0 \text{ m}}{0 \text{ det}} = 0,0000 \text{ m/det}$$

Pintu Air 4 (ditutup)

$$v = \frac{L_{ukur}}{t_{ukur}} = \frac{0 \text{ m}}{0 \text{ det}} = 0,0000 \text{ m/det}$$

Pada gambar 5.2 dan tabel 5.2 terlihat bahwa debit outlet terpaut jauh lebih rendah daripada debit inlet. Hal ini mengindikasikan adanya aliran balik (*coastal backwater*) dari laut sehingga aliran di outlet melambat. Posisi Boezem Kalidami yang lebih rendah dari permukaan air laut pada saat pasang air laut harian secara umum menyebabkan seringnya terjadi aliran balik air dari arah laut menuju ke boezem.



Gambar 5.2 Fluktuasi Debit Boezem Kalidami

Fluktuasi air limbah cenderung terpaut jauh disebabkan waktu pengukuran tidak konsisten setiap harinya mengikuti jadwal dibukanya pintu air. Pengukuran dilakukan secara manual dan sulit menyamakan jadwal pembukaan pintu air saat pompa banjir dinyalakan karena jadwal operasional yang tidak tetap. Dapat dilihat pada hari pertama kecepatan aliran jauh lebih tinggi karena jarak dengan pemompaan dan pengukuran yang dekat.

Besarnya aliran balik yang tidak sebanding dengan aliran masuk ke inlet boezem menyebabkan aliran negatif yang ditunjukkan oleh nilai 0. Kondisi yang disebut *coastal backwater* tersebut perlu dijadikan pertimbangan apakah mempengaruhi penerapan boezem sebagai *pretreatment* air limbah dan apakah masih mungkin untuk diantisipasi. Perlu dicatat bahwa pengukuran dilakukan pada saat akhir musim kemarau saat kondisi muka air di boezem rendah (kering).

Tabel 5.1 Luas Penampang dan Kecepatan Aliran Boezem Kalidami

Segmen-tasi	Muka Air	Lebar Segmen	Satuan	Luas Penam-pang	Satuan	Kecepatan Aliran (m/det)					Keterangan	
						Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5		
Inlet												
1	0,500	4,440	meter	1,110	m ²	0,0754	0,0000	0,0000	0,0198	0,0000	0,0000	Utara
2	1,100	4,440	meter	3,552	m ²	0,0794	0,0000	0,0000	0,0368	0,0000	0,0000	
3		4,440	meter	4,551	m ²	0,0740	0,0000	0,0000	0,0344	0,0000	0,0000	
4	0,950	4,440	meter	2,997	m ²	0,0733	0,0000	0,0000	0,0396	0,0000	0,0000	
5	0,400	4,440	meter	0,888	m ³	0,0633	0,0000	0,0000	0,0264	0,0000	0,0000	Selatan
		22,200	meter	13,098	m ²	0,0731	0,0000	0,0000	0,0314	0,0000	0,0000	Rata-rata
							(back-water)			(back-water)		Catatan
Outlet												
Pintu Air	1,500	3,000	meter	4,500	m ²	0,0473	0,0000	0,0000	0,0194	0,0000	0,0000	Tipikal
							(back-water)			(back-water)		Catatan

Tabel 5.2 Fluktuasi Debit Boezem Kalidami

Segmentasi	Debit Saluran (m ³ /det)					Rata-rata
	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	
Inlet						
1	0,0837	0,0000	0,0000	0,0220	0,0000	0,0211
2	0,2819	0,0000	0,0000	0,1308	0,0000	0,0825
3	0,3369	0,0000	0,0000	0,1566	0,0000	0,0987
4	0,2198	0,0000	0,0000	0,1186	0,0000	0,0677
5	0,0562	0,0000	0,0000	0,0234	0,0000	0,0159
Jumlah	0,9785	0,0000	0,0000	0,4515	0,0000	0,2860
Outlet						
Pintu Air	0,2128	0,0000	0,0000	0,0875	0,0000	0,0601

Kondisi ini mungkin dapat berbeda jika pengukuran dilakukan pada musim penghujan pada saat debit air inlet dari hulu akan lebih besar. Pada kasus saluran primer Kalidami, inlet dimulai dari Kecamatan Gubeng dan melewati serangkaian kontur saluran sebelum mencapai Boezem Kalidami. Sedangkan outletnya dimulai dari pintu air melewati perumahan Pakuwon Group (Eastcoast) hingga berakhir di selat Madura. Melihat jarak hulu ke hilirnya masing-masing sangat jauh dan debit aliran masuk sangat kecil, sehingga pola aliran inlet Boezem Kalidami cenderung lebih lambat karena telah kehilangan potensial energinya di sepanjang saluran.

Akibat aliran masuk yang lebih rendah daripada aliran dari pasang air laut harian, maka terjadilah keadaan yang disebut *coastal backwater* tadi. Hipotesa awal dari kondisi ini ialah bahwa semakin jauh waktu pengukuran dengan diakhirinya pemompaan, aliran balik (*coastal backwater*) dari arah laut akan semakin kuat mengisyaratkan operator untuk segera menutup pintu air Kalidami. Elevasi muka air pasang terjadi pada interval yang cepat sehingga perlu kajian ulang saat melakukan pengukuran selanjutnya.

Hal ini mungkin saja terjadi dikarenakan masukan air yang masuk ke dalam saluran secara umum sebagian besar hanya berasal dari kiriman air limbah di sekitarnya. Berbeda dengan contoh kasus penelitian oleh Puspita dan Tangahu (2018) yang memiliki pola aliran lebih cepat dari hulu Sungai Kalimas menuju inlet utama yaitu Sungai Greges dan berakhir di hilir Boezem Morokrengan yaitu Boezem Morokrengan Utara dan Teluk Lamong yang lebih berdekatan sehingga laju aliran keluar outlet lebih baik dibandingkan dengan Boezem Kalidami.

5.1.2 Hasil Uji Parameter Kualitas Air Boezem Kalidami

Pada sub bab ini akan dijabarkan mengenai hasil uji parameter kualitas air Boezem Kalidami. Parameter kualitas air meliputi COD, BOD, MLSS, MLVSS, klorofil-A untuk alga, serta parameter tambahan seperti DO dan salinitas. Kemudian antar beberapa parameter tersebut akan dikorelasikan untuk menemukan apakah ada keterkaitan antar satu parameter dengan parameter lainnya.

Pada penelitian ini, pengambilan sampel air dari Boezem Kalidami dilakukan selama 5 hari berturut-turut sebanyak satu kali

sehari dengan waktu tentatif. Waktu tentatif yang dimaksud di sini mengikuti jadwal pengoperasian pintu air dan pompa banjir Boezem Kalidami. Hal ini dilakukan karena debit masuk boezem yang tidak menentu sehingga harus menunggu waktu tinggal untuk mencapai tinggi muka air boezem sesuai prosedur operator di rumah pompa.

5.1.2.1 Parameter COD

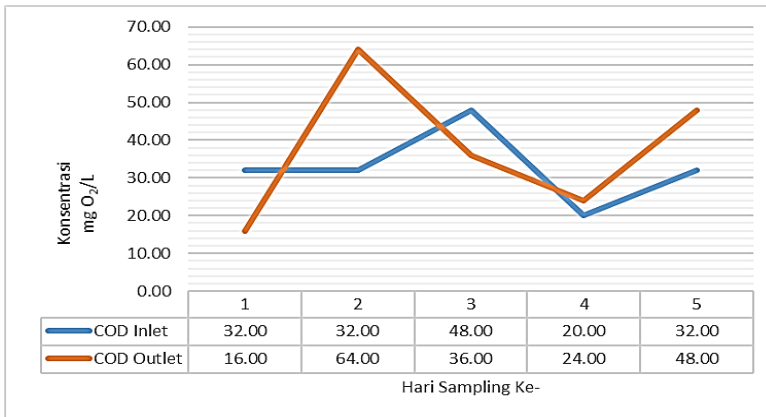
Seperti yang telah diketahui, parameter COD menggambarkan reaksi oksidasi pada Boezem Kalidami baik yang terjadi secara *biodegradable* maupun *non-biodegradable* (Boyd, 1990). Hasil uji parameter dan pola fluktuasinya akan menggambarkan kondisi yang terjadi di perairan pada saat dilakukan penelitian.

Pada hasil uji parameter didapatkan bahwa COD sampel pada inlet Boezem Kalidami berkisar antara 20 mg O₂/L hingga 48 mg O₂/L dengan rata-rata deviasi 32 mg O₂/L, sedangkan pada outlet Boezem Kalidami berkisar antara 16 mg O₂/L hingga 64 mg O₂/L dengan rata-rata deviasi 36 mg O₂/L. Rincian lebih jelasnya dapat dilihat pada ringkasan grafik pada Gambar 5.3. Nilai yang didapatkan sebagian besar berada di bawah baku mutu badan air kelas III, sangat jauh lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang berkisar antara 122 – 162 mg O₂/L (Ardhanareswari dan Herumurti (2011); Septiani dkk. (2014); Wulandari dan Soedjono (2017)).

Berdasarkan pengamatan penulis, hal ini dimungkinkan terjadi karena dua hal. Pertama, terjadi karena peningkatan kualitas pengelolaan badan air, dalam hal ini saluran primer Kalidami mulai dari hulu hingga ke hilir. Sedangkan yang kedua terjadi ketika diperoleh kondisi ideal penguraian air limbah di boezem akibat musim kemarau yang lebih panjang dari tahun-tahun penelitian sebelumnya.

Degradasi COD dipengaruhi beberapa faktor seperti karakteristik awal influen, pengenceran, kinetika reaksi mikroorganisme, serta keberadaan oksigen di perairan. Ketika diperoleh kondisi ideal untuk penguraian air limbah, substrat dengan sangat cepat berkurang diikuti dengan peningkatan pertumbuhan mikroorganisme.

Apabila substrat, nutrisi dan oksigen yang tersedia tidak seimbang, maka kondisi perairan akan menjadi toksik karena senyawa sisa degradasi seperti NH_3 (ammonia) pada kondisi basa dan NH_4^+ (ammonium) pada kondisi asam akan meningkat (Owen, 1984). Akibatnya, mikroorganisme tidak dapat mengoksidasi senyawa tersebut sehingga proses degradasi akan melambat. Hal ini dapat dilihat pada rasio BOD/ COD boezem sebesar 0,55.



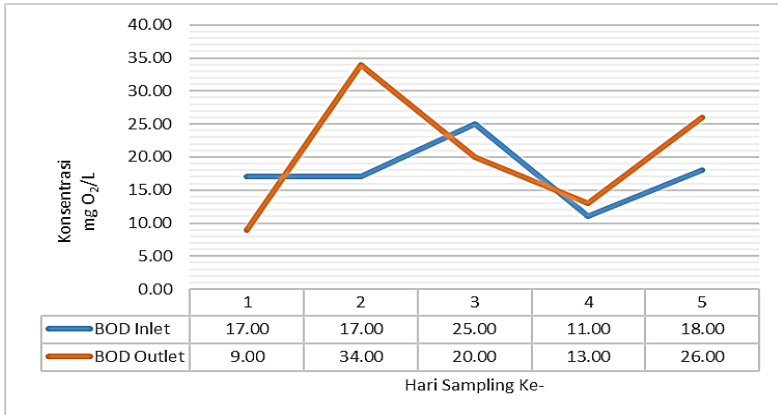
Gambar 5.3 Fluktuasi Nilai COD Boezem Kalidami

5.1.2.2 Parameter BOD

Pada hasil uji parameter didapatkan bahwa BOD sampel pada inlet Boezem Kalidami berkisar antara 11 mg O_2/L hingga 25 mg O_2/L dengan rata-rata deviasi 17,33 mg O_2/L , sedangkan pada outlet Boezem Kalidami berkisar antara 9 mg O_2/L hingga 34 mg O_2/L dengan rata-rata deviasi 19,67 mg O_2/L . Rincian lebih jelasnya dapat dilihat pada ringkasan grafik pada Gambar 5.4.

Degradasi BOD juga dipengaruhi oleh faktor yang serupa dengan COD. Melalui pengujian nilai BOD secara apa adanya tanpa mempertimbangkan karakteristik influen seperti toksisitas perairan dan konsentrasi bakteri, maka nilai tersebut akan menggambarkan kemampuan pemulihan badan air (*self purification*) (Hermanus dkk., 2015). Selanjutnya dapat dilihat

keterkaitan antara BOD dengan parameter lain yang diteliti pada sub bab terkait.



Gambar 5.4 Fluktuasi Nilai BOD Boezem Kalidami

5.1.2.3 Parameter MLSS

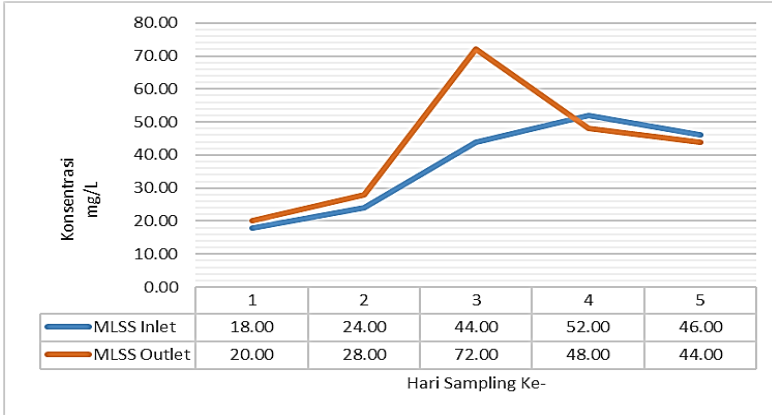
MLSS merupakan bagian dari total solid yaitu bulking water atau lumpur suspensi. Pengendapan lumpur suspensi ini bergantung pada rasio substrat per mikroorganisme (rasio F/M) di suatu reaktor. Apabila lumpur suspensi yang mengandung mikroorganisme ini berada pada fase *endogenous*, maka pengendapan lumpur akan menjadi lebih baik (Said dan Utomo, 2007). Fase *endogenous* di sini menunjukkan bahwa terjadi proses *digesting* material organik pada tingkat sel dari suatu lumpur biomassa.

Pada hasil uji parameter didapatkan bahwa MLSS sampel pada inlet Boezem Kalidami berkisar antara 18 mg/L hingga 52 mg/L dengan rata-rata deviasi 38 mg/L, sedangkan pada outlet Boezem Kalidami berkisar antara 20 mg/L hingga 72 mg/L dengan rata-rata deviasi 40 mg/L. Rincian lebih jelasnya dapat dilihat pada ringkasan grafik pada Gambar 5.5.

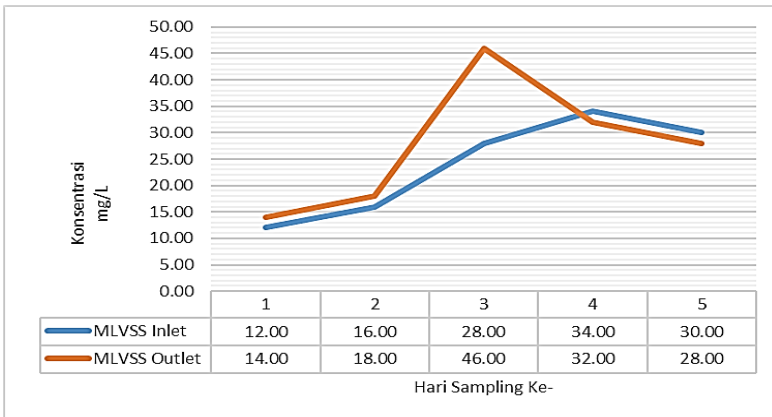
5.1.2.4 Parameter MLVSS

Pengukuran MLVSS merupakan suatu pendekatan untuk menyatakan jumlah mikroorganisme (termasuk bakteri dan

mikroalga) secara tidak langsung. Adanya peningkatan MLVSS menunjukkan mikroorganismenya mengalami pertumbuhan (Romli dkk., 2004). Dikarenakan pengukuran MLVSS tidak bersifat.



Gambar 5.5 Fluktuasi Nilai MLSS Boezem Kalidami



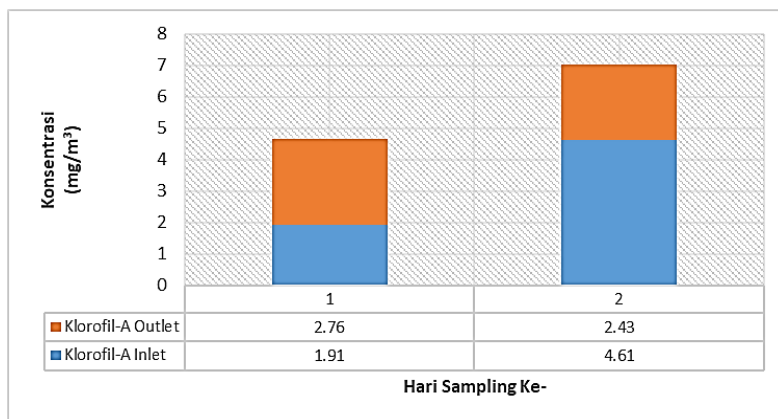
Gambar 5.6 Fluktuasi Nilai MLVSS Boezem Kalidami

spesifik, nilainya dapat mewakili atau tidak mewakili suatu pengukuran bergantung pada karakteristik sampel dan metode pendekatan yang digunakan pada penelitian

Pada hasil uji parameter didapatkan bahwa MLVSS sampel pada inlet Boezem Kalidami berkisar antara 12 mg/L hingga 24,67 mg/L dengan rata-rata deviasi 38 mg/L, sedangkan pada outlet Boezem Kalidami berkisar antara 14 mg/L hingga 46 mg/L dengan rata-rata deviasi 26 mg/L. Rincian lebih jelasnya dapat dilihat pada ringkasan grafik pada Gambar 5.6.

5.1.2.5 Parameter klorofil-A untuk alga

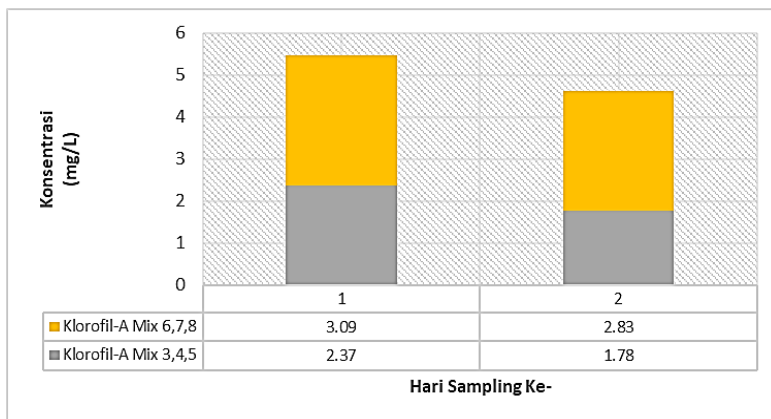
Nilai klorofil-A secara stoikiometri berbanding lurus dengan nilai biomassa alga (Bakhtiar, 2013). Nilai ini sering digunakan pada uji kualitas perairan untuk memonitor *alga blooming*. Pada hasil uji parameter didapatkan bahwa klorofil-A sampel pada inlet, outlet, komposit titik sampling 3,4,5 dan komposit titik sampling 6,7,8 Boezem Kalidami berkisar antara 1,78 mg/m³ hingga 4,61 mg/m³ dengan rata-rata deviasi 2,57 mg/m³. Rincian lebih jelasnya dapat dilihat pada ringkasan grafik pada Gambar 5.6.



Gambar 5.7 Konsentrasi Klorofil-A Inlet dan Outlet Boezem Kalidami

Terlihat bahwa konsentrasi alga di Boezem Kalidami cukup rendah. Rendahnya konsentrasi alga dipengaruhi beberapa faktor seperti toksisitas perairan misal akibat senyawa besi (Fe) dan aktivitas fotosintesis yang rendah karena terbatasnya kedalaman penetrasi cahaya (Sarmiento dkk., 2010; Basmi, 1995). Perlu

diketahui bahwa setiap jenis alga memiliki kandungan klorofil-A yang berbeda, sehingga perlu dilakukan penyetaraan pada setiap perhitungan biomassa alga (Yacobi dan Zohari, 2010).



Gambar 5.8 Konsentrasi Klorofil-A pada Komposit Titik Sampling 3,4,5 dan 6,7,8 Boezem Kalidami

5.1.2.6 Parameter suhu

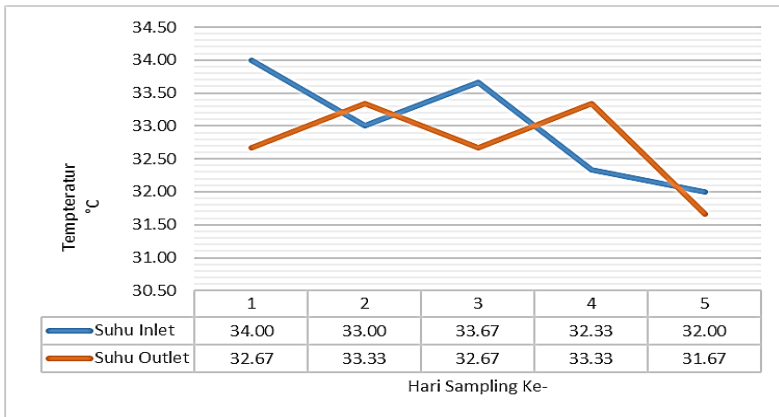
Parameter suhu sangat penting diamati pada saat mengamati gas rumah kaca karena pengaruhnya pada besar gas yang diemisikan. Pembentukan CH₄ dalam instalasi air limbah pada pengamatan umumnya aktif terbentuk pada kisaran suhu 30 – 40°C dengan suhu optimal hingga 38°C (Manurung, 2004).

Pada hasil uji parameter didapatkan bahwa suhu sampel pada inlet Boezem Kalidami berkisar antara 32°C hingga 34°C dengan rata-rata deviasi 33°C, sedangkan pada outlet Boezem Kalidami berkisar antara 32°C hingga 33,5°C dengan rata-rata deviasi 33°C. Rincian lebih jelasnya dapat dilihat pada ringkasan grafik pada Gambar 5.9.

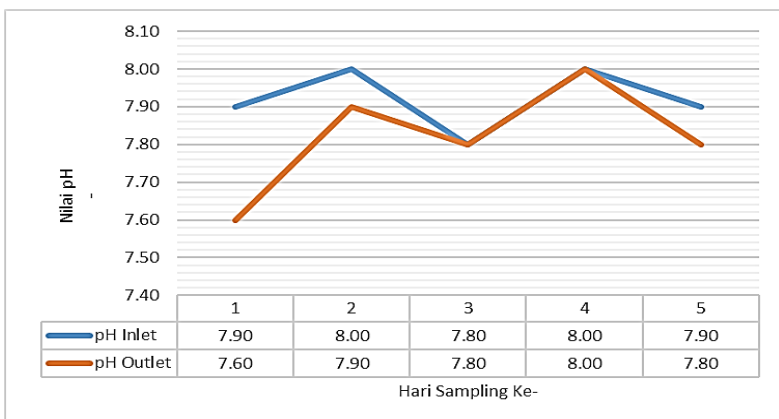
5.1.2.7 Parameter pH

Keberadaan karbonat, nutrisi dan mineral alkali sangat mempengaruhi pH perairan. Melalui mekanisme presipitasi kimia didapatkan penurunan nilai COD yang lebih baik. Polutan akan membentuk senyawa kovalen koloid atau senyawa karbonat

sehingga menurunkan nilai COD yang diindikasikan dari penurunan nilai TSS dan TOC (Zaher, 2005; Metcalf and Eddy Inc., 2003; Leentvar dan Rebhun, 1982). Intervensi pengaturan nilai pH secara umum dapat meningkatkan kemungkinan penurunan parameter pencemar (Mulyani dkk., 2012).



Gambar 5.9 Fluktuasi Suhu Boezem Kalidami



Gambar 5.10 Fluktuasi Nilai pH Boezem Kalidami

Pada hasil uji parameter didapatkan bahwa pH sampel pada inlet Boezem Kalidami berkisar antara 7,8 hingga 8 dengan

rata-rata deviasi 7,95, sedangkan pada outlet Boezem Kalidami berkisar antara 7,6 hingga 8 dengan rata-rata deviasi 33°C. Nilai pH mempengaruhi proses bio-kimia perairan termasuk proses fermentasi (Sawyer, 2004), yang berarti pula mempengaruhi laju pembentukan CH₄. Nilai pH terbaik untuk bakteri metana berkisar pada kondisi cenderung basa 6,8 – 7,6 (Foxon dkk., 2006). Hasil pengukuran pH dapat dilihat pada ringkasan grafik pada Gambar 5.10.

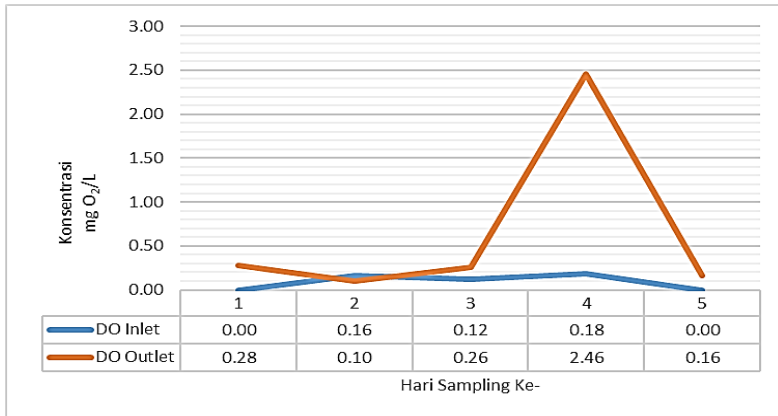
5.1.2.8 Parameter tambahan lain

Oksigen terlarut (DO) merupakan faktor penting yang mempengaruhi ekosistem perairan. Sumber oksigen di air dapat berasal dari reaksi fotosintesis, difusi dari udara, dan pergerakan arus air. Kondisi DO di badan air dapat mengindikasikan peran badan air tersebut dalam mendistribusikan oksigen ke seluruh badan air (Muriasih dkk., 2012)

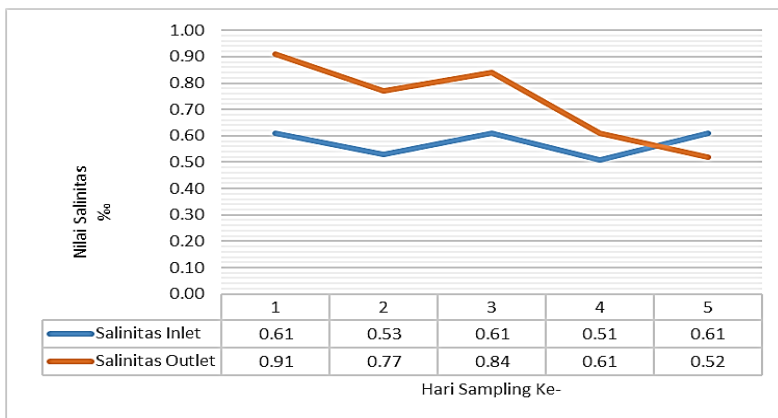
Pada hasil uji parameter didapatkan bahwa DO sampel pada inlet Boezem Kalidami berkisar antara 0 mg/L hingga 0,18 mg/L dengan rata-rata deviasi 0,15 mg/L, sedangkan pada outlet Boezem Kalidami berkisar antara 0 mg/L hingga 2,46 mg/L dengan rata-rata deviasi 0,2 mg/L. Rincian lebih jelasnya dapat dilihat pada ringkasan grafik pada Gambar 5.10.

Selanjutnya pada hasil uji parameter didapatkan bahwa salinitas sampel pada inlet Boezem Kalidami berkisar antara 0,51 ‰ hingga 0,62 ‰ dengan rata-rata deviasi 0,59 ‰, sedangkan pada outlet Boezem Kalidami berkisar antara 0,52 ‰ hingga 0,91 ‰ dengan rata-rata deviasi 0,74 ‰. Satuan parameter untuk salinitas biasa juga disebut per thousand atau *part per trillion* (ppt). Parameter salinitas menentukan jenis mikroba yang dapat tumbuh.

Mikroba, termasuk bakteri dan alga, yang tumbuh di air tawar membutuhkan waktu aklimatisasi yang lebih lama untuk dapat bertahan pada peningkatan salinitas perairan. Hal ini terkait dengan sistem osmosis sel karena salinitas yang meningkat pada tingkat tertentu akan menyebabkan plasmolisis (pecahnya sel karena ketidakseimbangan osmotik pada sel) (Kargi dan Dincer, 1996).



Gambar 5.11 Fluktuasi Nilai DO Boezem Kalidami



Gambar 5.12 Fluktuasi Salinitas Boezem Kalidami

Pada satu penelitian, diketahui mikroba air limbah membutuhkan waktu 3 hari untuk aklimatisasi pada salinitas 4 ppt. Nilai optimal untuk pertumbuhan sel mikroba air tawar secara umum adalah pada rentang hingga 3 ppt (Maulana dkk., 2013). Nilai salinitas rata-rata pada penelitian ini berada di bawah 3 ppt sehingga dari aspek ini terdapat indikasi bahwa mikroba di Boezem Kalidami tumbuh dengan baik. Rincian lebih jelasnya dapat dilihat pada ringkasan grafik pada Gambar 5.12.

5.1.2.8 Keterkaitan antar parameter kualitas air pada Boezem Kalidami

Keterkaitan empiris (non-statistik) antar parameter diberikan untuk mengetahui hubungan saling mempengaruhi antar parameter berdasarkan referensi yang mendukung. Keterkaitan antar parameter dapat dilihat pada gambar 5.13 - 5.15. Hasil uji laboratorium terhadap sampel air di inlet Boezem Kalidami yang diamati menunjukkan terdapat hubungan saling mempengaruhi pada beberapa parameter.

Berdasarkan Agustira (2013), parameter BOD menggambarkan hampir seluruh reaksi oksidasi partikel organik tersuspensi di badan air yang terjadi secara *biodegradable*. Sedangkan berdasarkan Nelson dan Lawrence (1980), terdapat porsi material organik dari MLSS yang diwakili oleh MLVSS. Nilai MLVSS meliputi material organik non mikroba, mikroba hidup dan mati, serta sampah sisa hancuran sel. Berdasarkan konsep tersebut, dapat diduga bahwa terdapat saling keterkaitan antara partikel tersuspensi (MLSS dan MLVSS) dengan nilai BOD dan COD.

Pada gambar 5.13 dapat dilihat keterkaitan antar parameter COD, BOD, MLSS, dan MLVSS. Nilai COD dengan BOD maupun MLSS dengan MLVSS memiliki pola linier secara paralel yang menunjukkan hubungan proporsional. Terlihat dari nilai parameter BOD terhadap COD maupun MLVSS terhadap MLSS selalu lebih kecil. Dengan demikian, pengamatan empiris sesuai dengan konsep dasar yang ada bahwa BOD merupakan porsi dari COD dan MLVSS merupakan porsi dari MLSS.

Sesuai dengan konsep fisika-kimia di air, bahwa nilai COD mewakili keseluruhan aktivitas oksidasi di badan air termasuk di dalamnya aktivitas oksidasi oleh mikroorganisme yang digambarkan sebagai BOD (Boyd, 1990; Metcalf and Eddy Inc., 1991). Begitupula terdapat hubungan MLSS sebagai parameter yang mewakili keseluruhan aktivitas lumpur tersuspensi termasuk di dalamnya material organik (termasuk mikroorganisme dan senyawa organik sederhana; sebagai MLVSS) maupun koloid (mineral dan senyawa organik-kompleks; sebagai MLFSS) (Said dan Utomo, 2007).

Seperti yang telah dipaparkan, terdapat keterkaitan antara COD dengan MLSS dan BOD dengan MLVSS. Pola keterkaitan yang dapat diamati pada grafik ialah cenderung berbanding terbalik antar parameter tersebut. Agar dapat terlihat lebih jelas perbedaannya, akan ditampilkan perbandingan beban massa masing-masing parameter berdasarkan debit air limbah yang masuk. Berikut adalah contoh perhitungan beban massa menggunakan hasil pengukuran parameter inlet dan debit pengukuran pada Boezem Kalidami dengan luas 2,7 hektare. Selanjutnya ringkasan perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.3.

Beban massa air limbah sebagai COD ($C_{o\ COD}$)

$$\begin{aligned}
 C_{o\ COD} &= \frac{Q \cdot [COD_{inlet}]}{Luasan} \\
 &= 0,29 \frac{m^3}{det} \times 32 \frac{g}{m^3} \times 86400 \frac{det}{hari} \times \frac{1}{1000} \frac{g}{kg} \\
 &\times \frac{1}{2,7\ ha} = 292,86 \frac{kg}{ha \cdot hari}
 \end{aligned}$$

Beban massa air limbah sebagai BOD ($C_{o\ BOD}$)

$$\begin{aligned}
 C_{o\ BOD} &= \frac{Q \cdot [BOD_{inlet}]}{Luasan} \\
 &= 0,29 \frac{m^3}{det} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 86400 \frac{det}{hari} \times \frac{1}{1000} \frac{g}{kg} \\
 &\times \frac{1}{2,7\ ha} = 158,63 \frac{kg}{ha \cdot hari}
 \end{aligned}$$

Beban massa air limbah sebagai MLSS ($C_{o\ MLSS}$)

$$\begin{aligned}
 C_{o\ MLSS} &= \frac{Q \cdot [MLSS_{inlet}]}{Luasan} \\
 &= 0,29 \frac{m^3}{det} \times 38 \frac{g}{m^3} \times 86400 \frac{det}{hari} \times \frac{1}{1000} \frac{g}{kg} \\
 &\times \frac{1}{2,7\ ha} = 347,77 \frac{kg}{hari}
 \end{aligned}$$

Beban massa air limbah sebagai MLVSS (C_o MLVSS)

$$C_o \text{ MLVSS} = \frac{Q \cdot [MLVSS_{inlet}]}{\text{Luasan}}$$

$$= 0,29 \frac{m^3}{det} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 86400 \frac{det}{hari} \times \frac{1}{1000} \frac{g}{kg}$$

$$\times \frac{1}{2,7 \text{ ha}} = 225,74 \frac{kg}{hari}$$

Tabel 5.3 Beban Massa Air Limbah yang Masuk ke Inlet Boezem

No	Perhitungan	Parameter			
1	Pengukuran Langsung	<i>Debit Eksisting</i>			
a	Inlet	0.2860			
b	Outlet	0.0601			
	satuan	m3/det			
2	Hasil Uji Lab	<i>COD</i>	<i>BOD</i>	<i>MLSS</i>	<i>MLVSS</i>
a	Inlet	32.00	17.33	38.00	24.67
b	Outlet	36.00	19.67	40.00	26.00
	satuan	mg/L = g/m3			
3	Beban Massa	<i>COD</i>	<i>BOD</i>	<i>MLSS</i>	<i>MLVSS</i>
a	Inlet	292.86	158.63	347.77	225.74
b	Outlet	69.20	37.80	76.89	49.98
	satuan	kg COD/ ha. hari	kg BOD/ ha. hari	kg MLSS/ ha. hari	kg MLVSS/ ha. hari

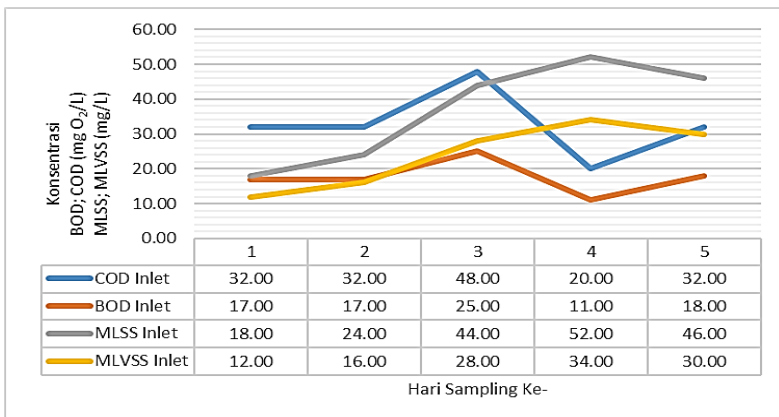
Pada penelitian ini, pada satu kondisi terdapat kecenderungan pola parameter COD-BOD turun diikuti dengan parameter MLSS-MLVSS yang naik, begitu pula sebaliknya. Pola saling berbanding terbalik ini juga ditemui pada penelitian Puspita dan Tangahu (2018) di Boezem Morokrembangan Selatan. Pola seperti ini menunjukkan indikasi degradasi air limbah yang baik apabila ditemui nilai COD turun dan MLSS naik di suatu reaktor berbentuk kolam seperti kolam stabilisasi (Hartati, 2012), sehingga terdapat potensi untuk memanfaatkan boezem sebagai unit *pretreatment* air limbah domestik.

Penggambaran sederhana keterkaitan parameter ini adalah ketika terjadi peningkatan mikroorganisme (sebagai MLSS), maka akan menyebabkan penurunan substrat (sebagai

COD). Pola yang konstan atau linier dapat menunjukkan salah satu atau kombinasi kemungkinan dari toksisitas perairan, ketidakseimbangan rasio substrat-nutrien, atau titik jenuh fase hidup mikroorganisme. Hal ini dapat diamati dari rasio BOD/COD yang menjauhi nilai 1 dan perlu ditinjau ulang pengaruhnya pada proses stabilisasi secara mendetail pada penelitian selanjutnya.

Pada hasil uji diperoleh rasio BOD/COD rata-rata inlet dan outlet Boezem Kalidami berturut-turut sebesar 0,54 dan 0,55. Sedangkan rasio MLVSS/MLSS rata-rata inlet dan outlet Boezem Kalidami berturut-turut 0,65 dan 0,65. Terlihat bahwa rasio BOD/COD yang cenderung menjauhi nilai 1 yang berarti derajat biodegradabilitasnya semakin rendah, walaupun masih termasuk kategori air limbah yang *biodegradable* (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

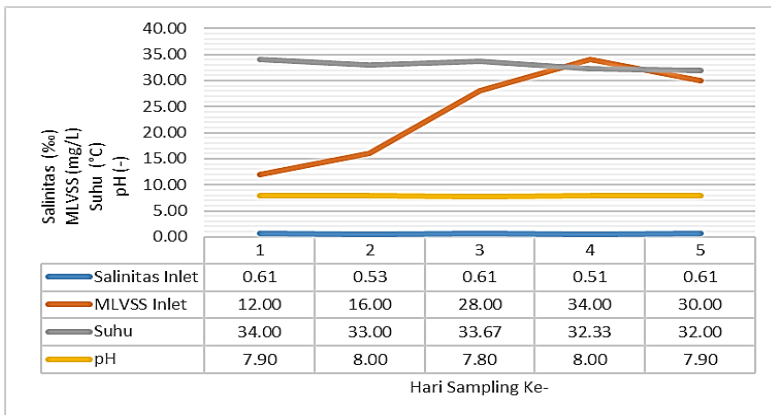
Sedangkan rasio MLVSS/MLSS yang diperoleh termasuk nilai yang lazim ditemui pada air limbah yaitu 65-75% dari MLSS (Nelson dan Lawrence, 1980). Variasi pola grafik yang tidak selalu konsisten menunjukkan bahwa pola degradasi di Boezem Kalidami sangat kompleks, namun hal tersebut belum dapat disimpulkan pada penelitian ini karena tidak dapat dilakukan uji statistik dari jumlah data yang terbatas.



Gambar 5.13 Nilai Parameter BOD, COD, MLSS, dan MLVSS pada Satu Grafik

Selanjutnya diamati keterkaitan visual grafik antara MLVSS sebagai gambaran umum aktivitas organik dengan suhu, pH dan salinitas, Pada gambar 5.14 dapat dilihat bahwa nilai MLVSS cenderung meningkat pada penurunan suhu. Pada grafik ini, terlihat fluktuasi pH dan salinitas tidak terlalu tampak mempengaruhi pola grafik. Boezem Kalidami berdasarkan hasil uji salinitas tersebut termasuk kategori *brackish waterbodies* cenderung ke arah air tawar sehingga masih dapat ditoleransi alga air tawar jenis *cyanophyta*.

Nilai pH yang tinggi dapat mengindikasikan terjadinya toksisitas akibat pengayaan nutrisi ammonia (NH_3) bebas yang menyebabkan perairan menjadi toksik bagi alga (Owen, 1984). Kecil kemungkinan toksisitas diakibatkan oleh logam berat karena biasanya akan menyebabkan perairan menjadi asam. Selain itu, pH cenderung basa > 7 – 8 mengindikasikan terjadinya pelepasan karbonat (CO_3) dan penurunan CO_2 bebas di air (Setoaji dan Hermana, 2013). Hal ini dapat menjadi bahan pertimbangan sebelum memanfaatkan alga untuk mitigasi emisi CO_2 di boezem. Mungkin dibutuhkan intervensi yang serius agar diperoleh hasil yang diharapkan.



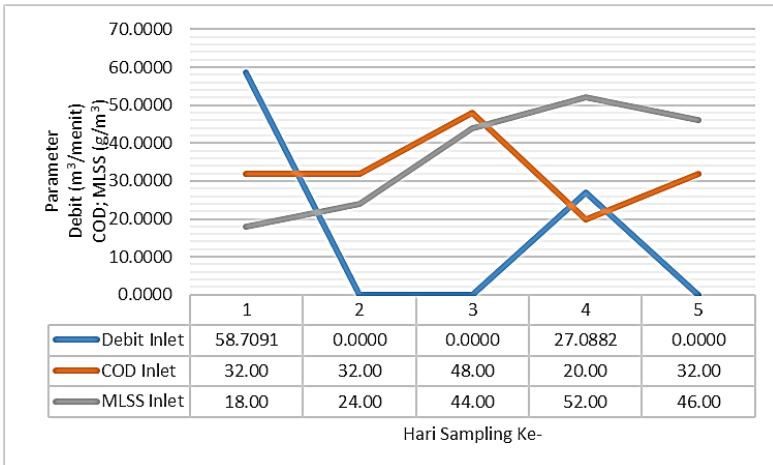
Gambar 5.14 Nilai Salinitas, MLVSS, Suhu, dan pH pada Satu Grafik

Nilai MLVSS tidak dapat menggambarkan aktivitas organik perairan secara spesifik (Romli dkk., 2004), sehingga pada

pengukuran suatu biomassa perlu dilakukan pendekatan yang sesuai. Pendekatan harus merujuk secara spesifik proses yang terjadi di dalamnya sehingga penyimpangan data penelitian dapat dihindari.

Keterkaitan antara parameter debit dengan COD dan MLSS dapat diamati pada gambar 5.15. Debit yang rendah menyebabkan aliran masuk yang melambat dan meningkatkan waktu tinggal hidrolis (HRT) air limbah. Waktu tinggal atau HRT yang sesuai akan meningkatkan proses degradasi di reaktor dan umumnya diperoleh pada minimum lebih dari 1 hari (Said dan Utomo, 2007).

Debit pada hari kedua dan ketiga bernilai negatif menyebabkan beban massa yang masuk melambat. Ketika aliran menjadi lebih tenang dan beban massa yang masuk berkurang, proses degradasi dapat berjalan lebih baik. Hal ini dapat dilihat dari pola grafik pada hari keempat, sesuai dengan pernyataan Hartati (2012) yang menyatakan bahwa indikasi degradasi air limbah yang baik dapat dilihat pada pola ketika terjadi kenaikan MLSS saat proses penurunan nilai COD.



Gambar 5.15 Nilai Debit, COD, dan MLSS pada Satu Grafik

Pada Boezem Kalidami terlihat bahwa proses degradasi bahan organik optimal membutuhkan sekitar 1 hari waktu aklimatisasi atau penyesuaian diri pada kondisi aliran lambat. Hal ini juga dapat terjadi karena kondisi perairan yang cenderung mengarah ke kondisi *non-biodegradable* bagi mikroorganisme seperti yang dijelaskan sebelumnya (BOD/COD = 0,55). Pada kondisi seperti ini, intervensi mungkin diperlukan agar proses stabilisasi pada kolam dapat berjalan optimal..

5.2 Prediksi Potensi Emisi CO₂ dan CH₄ di Boezem Kalidami dengan 2 Skenario Reduksi

Boezem dapat diibaratkan sebagai kolam stabilisasi alami untuk *pretreatment* air limbah di negara berkembang. Seperti yang telah diketahui sebelumnya, kondisi tropis di Indonesia secara umum sangat menguntungkan (*favorable*) terhadap proses degradasi air limbah karena lebih cepat dan efisien dibanding di negara non-tropis (Mara, 2003). Apabila boezem dikondisikan sebagai kolam fakultatif maupun anaerobik, terjadi proses degradasi yang berpotensi menghasilkan gas-gas rumah kaca seperti CO₂ dari proses aerobik hingga anaerobik dan CH₄ dari proses anaerobik.

Variasi proses pembentukan CO₂ dan CH₄ sangat dipengaruhi oleh kedalaman badan air. Semakin dalam badan air, semakin besar kecenderungan untuk terbentuknya CH₄ pada kondisi anaerobik. Berdasarkan data Dinas PU Bina Marga dan Pematuan Kota Surabaya, kedalaman rata-rata Boezem Kalidami berkisar 2 - 4 meter. Kedalaman ini memungkinkan terjadinya proses degradasi air limbah domestik secara anaerobik karena berkisar antara kedalaman kolam anaerobik 2-5 meter (Sasse, 1998; Hashimi dan Hussain, 2013). Akan tetapi hal ini tidak mutlak karena bisa saja pada kedalaman fakultatif 1-1,5 meter sudah terjadi proses anaerobik.

Proses anaerobik pada fase fakultatif dapat terjadi pada kedalaman yang lebih dangkal apabila tidak terjadi cukup pengadukan alami (turbulensi aliran) dari pergerakan angin atau mekanisme lain sehingga kelarutan oksigen turut berkurang. Nilai oksigen terlarut (*dissolved oxygen* (DO)) merupakan parameter yang dapat mengindikasikan fase degradasi polutan di badan air. Semakin rendah nilai DO, maka proses degradasi cenderung

berada pada fase anaerobik. Nilai DO kurang dari 1 mg O₂/L menunjukkan fase dominan adalah anoksik(fakultatif)-anaerobik sehingga akan mendukung pembentukan CH₄.

Pada proses degradasi air limbah yang ideal, terjadi pula proses respirasi endogenous bakteri pada lumpur biomassa. Fraksi biomassa ini kemudian terkonversi menjadi CO₂ dan CH₄ dalam mekanisme siklus karbon perairan. Proses ini dapat dilihat pada unit pengolahan lumpur biomassa (*digester*) yang aktif (Gupta dan Singh, 2012). Berdasarkan konsep tersebut, perhitungan emisi CO₂ dan CH₄ akan dibagi 2 yaitu pada fase larutan tersuspensi dan fase digesting lumpur. Perhitungan fase larutan tersuspensi mengikuti persamaan 2.2 dan 2.3, sedangkan fase digesting lumpur mengikuti persamaan 2.5 dan 2.6.

Perhitungan tersebut kemudian dikondisikan pada 2 skenario. Skenario pertama adalah prediksi potensi emisi ketika melakukan upaya memanfaatkan alga alami di boezem. Sedangkan skenario kedua adalah prediksi potensi emisi ketika melakukan upaya perencanaan periode pengerukan lumpur. Proses perhitungan emisi menggunakan langkah yang hampir sama sehingga hasil akhir yang diperoleh akan berbanding lurus.

Pada perhitungan prediksi potensi emisi CO₂ dan CH₄, digunakan 2 kasus. Kasus pertama mengikuti kondisi sesungguhnya di lapangan. Digunakan data debit air limbah masuk dan parameter kualitas air yang digunakan berasal dari pengukuran langsung di Boezem Kalidami. Sedangkan pada kasus kedua parameter outlet diasumsikan sesuai dengan baku mutu badan air kelas III berdasarkan PP RI Nomor 82 Tahun 2001 sebagai pembeda.

5.2.1 Prediksi Emisi Skenario Pertama (Pemanfaatan Alga Alami Boezem)

Skenario pertama merupakan prediksi potensi emisi gas rumah kaca (GRK) pada pemanfaatan alga yang tumbuh alami di boezem. Alga digunakan karena berpotensi untuk mereduksi CO₂ melalui mekanisme fiksasi pada proses fotosintesis. Perhitungan mengikuti langkah-langkah sesuai dengan metode yang dijelaskan pada bab 4 sebagai berikut.

A. Perhitungan kasus pertama (kondisi eksisting)

Efisiensi removal (%RE) COD

$$\begin{aligned}\%RE_{BOD} &= \frac{[BOD_{inlet}] - [BOD_{outlet}]}{[BOD_{inlet}]} = \frac{32 \frac{g}{m^3} - 36 \frac{g}{m^3}}{32 \frac{g}{m^3}} \times 100\% \\ &= -12,5\%\end{aligned}$$

Pada perhitungan di atas didapatkan nilai efisiensi removal negatif. Nilai negatif didapatkan akibat kualitas air di outlet Boezem Kalidami lebih buruk daripada di bagian inletnya. Hal ini sudah diprediksikan sangat mungkin terjadi karena boezem sejak awal tidak ditujukan sekaligus sebagai kolam stabilisasi melainkan kolam retensi air hujan saja. Hampir seluruh sistem drainase di Indonesia tidak menerapkan konsep pemisahan fungsi sehingga air limbah domestik juga ikut masuk ke dalam sistem drainase.

Kondisi boezem terlihat memiliki banyak masukan dari perumahan dan fasilitas umum di sekitar boezem. Masyarakat yang langsung membuang air limbah domestik bahkan juga sampah rumah tangga ke Boezem Kalidami menyebabkan fungsi stabilisasi yang diharapkan tidak tercapai. Akibatnya kualitas air di outlet boezem lebih buruk dari inletnya.

Selain faktor tersebut, sering sekali terjadi aliran balik dari air laut pada periode pasang harian (*coastal backwater*) karena posisi daratan yang lebih rendah dari muka air laut. Akibatnya, masukan air limbah dari arah perumahan Pakuwon Group (East Coast) di sebelah timur dan perumahan Mulyosari di sebelah utara tak dapat dihindari. Hal ini juga turut berkontribusi pada kualitas parameter air outlet yang lebih buruk dari inlet. Pada akhirnya hal tersebut menyebabkan perlunya upaya lebih besar untuk menjaga kualitas effluent sebelum dapat mengalirkannya dari boezem menuju ke laut

Berdasarkan kondisi tersebut, secara sederhana disimpulkan bahwa boezem tidak mampu mengolah seluruh beban polutan yang masuk ke inlet. Akan tetapi, penulis tetap melakukan perhitungan agar dapat diketahui potensi emisi CO₂ dan CH₄ sebagai emisi tak terolah apabila terjadi proses degradasi air limbah secara sempurna. Dilakukan modifikasi sederhana agar dapat dilakukan perhitungan emisi CO₂ dan CH₄ Boezem Kalidami sebagai potensi emisi yang tidak terolah. Modifikasi dilakukan

dengan melakukan 2 kali perhitungan yaitu pada nilai inlet sama dengan outlet sebagai potensi emisi dengan efisiensi 100% (variabel perhitungan 1) dan juga pada nilai sisa berlebih pada outlet yang perlu ditambahkan ke dalam perhitungan sebagai sisa emisi berlebih (variabel perhitungan 2). Berikut adalah perhitungan yang dilakukan sehingga didapatkan hasil akhir emisi CO₂ dan CH₄ pada Boezem Kalidami.

Removal efisiensi COD dan BOD (%RE_{COD} dan %RE_{BOD})

$$\begin{aligned} \%RE_{BOD1} &= \frac{[BOD_{inlet}] - [BOD_{outlet}]}{[BOD_{inlet}]} = \frac{17,33 \frac{g}{m^3} - 0 \frac{g}{m^3}}{17,33 \frac{g}{m^3}} \times 100\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%RE_{BOD2} &= \frac{[BOD_{inlet}] - [BOD_{outlet}]}{[BOD_{inlet}]} \\ &= \frac{17,33 \frac{g}{m^3} - (19,67 - 17,33) \frac{g}{m^3}}{17,33 \frac{g}{m^3}} \times 100\% \\ &= 86,54\% \end{aligned}$$

Beban lumpur tersuspensi (C_{oMLSS})

$$\begin{aligned} C_{oMLSS} &= Q \cdot [MLSS_{inlet}] = 0,29 \frac{m^3}{det} \times 38 \frac{g}{m^3} \times 3600 \frac{det}{jam} \times \frac{1}{1000} \frac{g}{kg} \\ &= 39,12 \frac{kg}{jam} \end{aligned}$$

Laju akumulasi lumpur tersuspensi (Q_s)

$$Q_s = \frac{[C_{oMLSS}]}{\rho} = \frac{39,12 \frac{kg}{jam}}{990 \frac{kg}{m^3}} = 0,04 \frac{m^3}{jam}$$

Keterangan:

Berdasarkan penelitian oleh Satwika (2012), densitas lumpur tersuspensi adalah sekitar 990 kg/m³.

Yield biomassa lumpur organik volatil (λ)

$$\lambda = \frac{Q_s \times [MLVSS_s] \times CF_s}{Q_{ww} \times OD \times EF_{OD} \times CF_c}$$

Diketahui:

$$Q_s = 0,04 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$[MLVSS_s] = [MLVSS_{inlet}] = 24,67 \text{ g/m}^3$$

$CF_s = 0,53 \text{ g C / g MLVSS}$ (faktor koreksi nilai karbon; default)

$$Q_{ww} = Q_{inlet} = 1029,57 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$OD = \text{oxygen demand}$ organik volatil (sebagai [BOD]) = $BOD_{inlet} = 17,33 \text{ g/m}^3$

$EF_{OD} = \%RE_{BOD} = 100\% = 0,135$ pada variabel 1; dan

$= \%RE_{BOD} = 86,54\% = 0,865$ pada variabel 2

$CF_c = \text{konsumsi C per oxygen demand} = 12/32 = 0,375 \text{ g C / g oxygen demand}$

$$\lambda_1 = \frac{0,04 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 24,67 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,53 \frac{\text{g C}}{\text{g MLVSS}}}{1029,57 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 17,33 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 1 \times 0,375 \frac{\text{g C}}{\text{g oxygen demand}}}$$
$$= 0,000077$$

$$\lambda_2 = \frac{0,04 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 24,67 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,53 \frac{\text{g C}}{\text{g MLVSS}}}{1029,57 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 17,33 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,865 \times 0,375 \frac{\text{g C}}{\text{g oxygen demand}}}$$
$$= 0,000089$$

Berdasarkan data dari perhitungan-perhitungan di atas, dapat dicari laju emisi CO_2 dan CH_4 di Boezem Kalidami.

Laju potensi emisi GRK lumpur tersuspensi sebagai emisi tak terolah

Potensi emisi karbon dioksida (CO_2) fase suspensi

$$CO_2 (1) = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CO_2(1) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 1 \times 1,375 \frac{g CO_2}{g O_2} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,000077) \right] = 0,01178 \frac{ton}{jam} = 0,28266 \frac{ton}{hari}$$

$$CO_2(2) = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CO_2(2) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 0,865 \times 1,375 \frac{g CO_2}{g O_2} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,000089) \right] = 0,01012 \frac{ton}{jam} = 0,24460 \frac{ton}{hari}$$

Potensi emisi metana (CH₄) fase suspensi

$$CH_4(1) = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CH_4(1) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 1 \times 0,5 \frac{g CH_4}{g O_2} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,000077) \right] = 0,00464 \frac{ton}{jam} = 0,11135 \frac{ton}{hari}$$

$$CH_4(2) = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CH_4(2) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 0,865 \times 0,5 \frac{g CH_4}{g O_2} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,000089) \right] = 0,00402 \frac{ton}{jam} = 0,09636 \frac{ton}{hari}$$

Keterangan:

Berdasarkan referensi pada tabel 2.2, nilai MCF_{ww} fase suspensi air limbah pada kolam fakultatif > 2 meter adalah 0,8. Sedangkan BG_{CH₄} digunakan nilai default 0,65.

Laju potensi emisi GRK penguraian lumpur biomassa (*digested biomass sludge*) sebagai emisi tak terolah

Potensi emisi karbon dioksida (CO₂) fase *digesting*

$$CO_2(1) = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{44}{12} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CO_2(1) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 0,04 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \times 3,67 \frac{g CO_2}{g C} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \right] = 0,00000091 \frac{ton}{jam} = 0,000022 \frac{ton}{hari}$$

$$CO_2(2) = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{44}{12} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CO_2(2) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 0,04 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \times 3,67 \frac{g CO_2}{g C} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \right] = 0,00000091 \frac{ton}{jam} = 0,000022 \frac{ton}{hari}$$

Potensi emisi metana (CH₄) fase *digesting*

$$CH_4(1) = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{16}{12} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CH_4(1) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 0,04 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \times 1,33 \frac{g CH_4}{g C} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \right] = 0,00000036 \frac{ton}{jam} = 0,0000086 \frac{ton}{hari}$$

$$CH_4(2) = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{16}{12} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CH_4(2) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 0,04 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \times 1,33 \frac{g CH_4}{g C} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \right] = 0,00000036 \frac{ton}{jam} = 0,0000086 \frac{ton}{hari}$$

Keterangan:

Berdasarkan referensi pada tabel 2.2, nilai MCF_s fase *digesting* lumpur adalah 0,8.

Laju potensi emisi GRK total sebagai emisi tak terolah

Potensi emisi karbon dioksida (CO₂) total

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ total} &= \text{CO}_2 \text{ suspensi} + \text{CO}_2 \text{ digesting} \\ &= (0,02827 + 0,24460) \frac{\text{ton}}{\text{hari}} + (0,000022 + 0,000022) \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = \\ &0,52730 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 192,47 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \end{aligned}$$

Potensi emisi metana (CH₄) total

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ total} &= \text{CH}_4 \text{ suspensi} + \text{CH}_4 \text{ digesting} \\ &= (0,11135 + 0,09636) \frac{\text{ton}}{\text{hari}} + (0,0000086 + 0,0000086) \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \\ &= 0,20773 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 75,82 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \end{aligned}$$

Rasio metana (CH₄) terhadap karbon dioksida (CO₂)

$$\frac{\text{CH}_4 \text{ total}}{\text{CO}_2 \text{ total}} = \frac{0,20773 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}}{0,52730 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}} = 0,3939$$

Rasio CH₄ terhadap total CO₂ berkisar 39,5% menunjukkan besarnya potensi terjadinya proses anaerobik di Boezem Kalidami. Hal ini sesuai dengan hasil uji laboratorium didapatkan rata-rata nilai DO bernilai kurang dari 1 mg/L yang berarti fase dominan di Boezem Kalidami adalah fase anaerobik.

B. Perhitungan kasus kedua (sesuai baku mutu)

Removal efisiensi COD dan BOD (%RE_{COD} dan %RE_{BOD})

$$\begin{aligned} \%RE_{BOD} &= \frac{[BOD_{inlet}] - [BOD_{outlet}]}{[BOD_{inlet}]} = \frac{17,33 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 6 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{17,33 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} \times 100\% \\ &= 65,38\% \end{aligned}$$

Beban lumpur tersuspensi (C_{oMLSS})

$$C_{oMLSS} = Q \cdot [MLSS_{inlet}] = 0,29 \frac{m^3}{det} \times 38 \frac{g}{m^3} \times 3600 \frac{det}{jam} \times \frac{1}{1000} \frac{g}{kg}$$
$$= 39,12 \frac{kg}{jam}$$

Laju akumulasi lumpur tersuspensi (Q_s)

$$Q_s = \frac{[C_{oMLSS}]}{\rho} = \frac{39,12 \frac{kg}{jam}}{990 \frac{kg}{m^3}} = 0,04 \frac{m^3}{jam}$$

Yield biomassa lumpur organik volatil (λ)

$$\lambda = \frac{Q_s \times [MLVSS_s] \times CF_s}{Q_{ww} \times OD \times EF_{OD} \times CF_c}$$

Diketahui:

$$Q_s = 0,04 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$[MLVSS_s] = [MLVSS_{inlet}] = 24,67 \text{ g/m}^3$$

$$CF_s = 0,53 \text{ g C / g MLVSS (faktor koreksi nilai karbon; default)}$$

$$Q_{ww} = Q_{inlet} = 1029,57 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$OD = \text{oxygen demand organik volatil (sebagai [BOD])} = BOD_{inlet} = 17,33 \text{ g/m}^3$$

$$EF_{OD} = \%RE_{BOD} = 65,38\% = 0,6538$$

$$CF_c = \text{konsumsi C per oxygen demand} = 12/32 = 0,375 \text{ g C / g oxygen demand}$$

$$\lambda = \frac{0,04 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \frac{g C}{g MLVSS}}{1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 0,654 \times 0,375 \frac{g C}{g oxygen demand}}$$
$$= 0,000118$$

Berdasarkan data dari perhitungan-perhitungan di atas, dapat dicari laju emisi GRK di Boezem Kalidami.

Laju potensi emisi GRK lumpur tersuspensi

Potensi emisi karbon dioksida (CO₂) fase suspensi

$$CO_2 = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CO_2 = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 0,654 \times 1,375 \frac{g CO_2}{g O_2} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,000118) \right] = 0,007701 \frac{ton}{jam} = 0,18481 \frac{ton}{hari}$$

Potensi emisi metana (CH₄) fase suspensi

$$CH_4 = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CH_4 = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 0,654 \times 0,5 \frac{g CH_4}{g O_2} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,000118) \right] = 0,00303 \frac{ton}{jam} = 0,07281 \frac{ton}{hari}$$

Keterangan:

Berdasarkan referensi pada tabel 2.2, nilai MCF_{ww} fase suspensi air limbah pada kolam fakultatif > 2 meter adalah 0,8. Sedangkan BG_{CH₄} digunakan nilai default 0,65.

Laju potensi emisi GRK penguraian lumpur biomassa (digested biomass sludge)

Potensi emisi karbon dioksida (CO₂) fase digesting

$$CO_2 = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{44}{12} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CO_2 = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 0,04 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \times 3,67 \frac{g CO_2}{g C} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \right] = 0,00000091 \frac{ton}{jam} = 0,000022 \frac{ton}{hari}$$

Potensi emisi metana (CH₄) fase digesting

$$CH_4(1) = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{16}{12} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CH_4(1) = 10^{-6} \frac{\text{ton}}{\text{g}} \times 0,04 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 24,67 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,53 \times 1,33 \frac{\text{g CH}_4}{\text{g C}} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{\text{g C}}{\text{g CH}_4} \right) \right] = 0,00000036 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} = 0,0000086 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}$$

Keterangan:

Berdasarkan referensi pada tabel 2.2, nilai MCF_s fase *digesting* lumpur adalah 0,8.

Laju potensi emisi GRK total

Potensi emisi karbon dioksida (CO₂) total

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ total} &= CO_2 \text{ suspensi} + CO_2 \text{ digesting} \\ &= 0,18481 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} + 0,000022 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 0,18483 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 67,462 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \end{aligned}$$

Potensi emisi metana (CH₄) total

$$\begin{aligned} CH_4 \text{ total} &= CH_4 \text{ suspensi} + CH_4 \text{ digesting} \\ &= 0,07280 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} + 0,0000086 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 0,07281 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 26,576 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \end{aligned}$$

5.2.2 Prediksi Emisi Skenario Kedua (Perencanaan Waktu Pengerukan Lumpur)

Skenario kedua merupakan prediksi potensi emisi gas rumah kaca (GRK) pada perencanaan periode pengerukan lumpur di boezem. Dasar perhitungan yang digunakan adalah tipikal dengan skenario 1 dengan modifikasi pada laju akumulasi lumpur (Q_s). Laju akumulasi lumpur (Q_s) diperoleh dari asumsi porsi lumpur solid dan lumpur suspensi (*mixed liquor*) pada data eksisting pengerukan. Konsep dasarnya adalah besarnya potensi CO₂ dan CH₄ yang teremisikan pada sistem adalah sebanding

dengan besarnya lumpur suspensi (*mixed liquor*) dari data pengerukan lumpur. Nilai paling baik diperoleh jika terdapat data massa lumpur karena bernilai konstan. Namun apabila tidak tersedia data kesetimbangan massa, maka dapat digunakan modifikasi dari data volumetrik eksisting lumpur pada tabel 4.3.

Pada perhitungan potensi emisi CO₂ dan CH₄ dari data lumpur eksisting, digunakan asumsi terkait persentase lumpur dalam bentuk liquor dan solid. Asumsi yang digunakan diperoleh dari referensi proses pengolahan unit lumpur aktif. Berdasarkan kriteria umum perencanaan unit pengolahan menggunakan lumpur aktif, diketahui bahwa nilai solid maksimum adalah sebesar 5% dari total lumpur (Nurhayati dan Susilawati, 2018) sehingga laju lumpur suspensi yang diperhitungkan sebagai MLSS dapat dicari pada perhitungan berikut.

$$Q_s \text{ MLSS eksisting} = Q \text{ lumpur eksisting} \times (100\% - 5\%)$$

$$\begin{aligned} Q_s \text{ MLSS eksisting} &= 5406 \frac{\text{m}^3}{\text{tahun}} \times 95\% \times \frac{1 \text{ tahun}}{365 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\ &= 0,59 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \end{aligned}$$

Apabila diasumsikan emisi CO₂ dan CH₄ dianggap berbanding lurus dengan data pengerukan, maka aspek yang ditinjau hanyalah laju akumulasi lumpur sebagai MLSS (Qs MLSS eksisting). Nilai ini kemudian digunakan pada langkah perhitungan seperti pada skenario pertama sebelumnya. Berikut adalah perhitungan emisi CO₂ dan CH₄ pada skenario kedua.

A. Perhitungan kasus pertama (kondisi eksisting)

Removal efisiensi COD dan BOD (%RE_{COD} dan %RE_{BOD})

$$\begin{aligned} \%RE_{BOD} 1 &= \frac{[BOD_{inlet}] - [BOD_{outlet}]}{[BOD_{inlet}]} = \frac{17,33 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 0 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{17,33 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} \times 100\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%RE_{BOD2} &= \frac{[BOD_{inlet}] - [BOD_{outlet}]}{[BOD_{inlet}]} \\ &= \frac{17,33 \frac{g}{m^3} - (19,67 - 17,33) \frac{g}{m^3}}{17,33 \frac{g}{m^3}} \times 100\% \\ &= 86,54\% \end{aligned}$$

Laju akumulasi lumpur tersuspensi (Q_s)

$$Q_s = Q_s \text{ MLSS eksisting} = 0,59 \frac{m^3}{jam}$$

Yield biomassa lumpur organik volatil (λ)

$$\lambda = \frac{Q_s \times [MLVSS_s] \times CF_s}{Q_{ww} \times OD \times EF_{OD} \times CF_c}$$

Diketahui:

$$Q_s = 0,59 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$[MLVSS_s] = [MLVSS_{inlet}] = 24,67 \text{ g/m}^3$$

$$CF_s = 0,53 \text{ g C / g MLVSS (faktor koreksi nilai karbon; default)}$$

$$Q_{ww} = Q_{inlet} = 1029,57 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$OD = \text{oxygen demand organik volatil (sebagai [BOD])} = BOD_{inlet} = 17,33 \text{ g/m}^3$$

$$EF_{OD} = \%RE_{BOD} = 100\% = 0,135 \text{ pada variabel 1; dan}$$

$$= \%RE_{BOD} = 86,54\% = 0,865 \text{ pada variabel 2}$$

$$CF_c = \text{konsumsi C per oxygen demand} = 12/32 = 0,375 \text{ g C / g oxygen demand}$$

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{0,59 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \frac{g \text{ C}}{g \text{ MLVSS}}}{1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 1 \times 0,375 \frac{g \text{ C}}{g \text{ oxygen demand}}} \\ &= 0,001145 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \frac{0,59 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \frac{g \text{ C}}{g \text{ MLVSS}}}{1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 0,865 \times 0,375 \frac{g \text{ C}}{g \text{ oxygen demand}}} \\ &= 0,001323 \end{aligned}$$

Berdasarkan data dari perhitungan-perhitungan di atas, dapat dicari laju emisi GRK di Boezem Kalidami.

Laju potensi emisi GRK lumpur tersuspensi sebagai emisi tak terolah

Potensi emisi karbon dioksida (CO₂) fase suspensi

$$CO_2 (1) = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CO_2(1) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 1 \times 1,375 \frac{g CO_2}{g O_2} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,001145) \right] = 0,01177 \frac{ton}{jam} = 0,28236 \frac{ton}{hari}$$

$$CO_2 (2) = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CO_2(2) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 0,865 \times 1,375 \frac{g CO_2}{g O_2} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,001323) \right] = 0,0105 \frac{ton}{jam} = 0,25153 \frac{ton}{hari}$$

Potensi emisi metana (CH₄) fase suspensi

$$CH_4 (1) = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CH_4(1) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 1 \times 0,5 \frac{g CH_4}{g O_2} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,000077) \right] = 0,00464 \frac{ton}{jam} = 0,11135 \frac{ton}{hari}$$

$$CH_4 (2) = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CH_4(2) = 10^{-6} \frac{\text{ton}}{\text{g}} \times 1029,57 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 17,33 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,865 \times 0,5 \frac{\text{g } CH_4}{\text{g } O_2} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{\text{g } C}{\text{g } CH_4} \right) \times (1 - 0,000089) \right] = 0,00402 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} = 0,09636 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}$$

Keterangan:

Berdasarkan referensi pada tabel 2.2, nilai MCF_{ww} fase suspensi air limbah pada kolam fakultatif > 2 meter adalah 0,8. Sedangkan BG_{CH_4} digunakan nilai default 0,65.

Laju potensi emisi GRK penguraian lumpur biomassa (digested biomass sludge) sebagai emisi tak terolah

Potensi emisi karbon dioksida (CO_2) fase digesting

$$CO_2(1) = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{44}{12} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CO_2(1) = 10^{-6} \frac{\text{ton}}{\text{g}} \times 0,59 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 24,67 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,53 \times 3,67 \frac{\text{g } CO_2}{\text{g } C} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{\text{g } C}{\text{g } CH_4} \right) \right] = 0,0000135 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} = 0,000324 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}$$

$$CO_2(2) = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{44}{12} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CO_2(2) = 10^{-6} \frac{\text{ton}}{\text{g}} \times 0,59 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 24,67 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,53 \times 3,67 \frac{\text{g } CO_2}{\text{g } C} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{\text{g } C}{\text{g } CH_4} \right) \right] = 0,0000135 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} = 0,000324 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}$$

Potensi emisi metana (CH_4) fase digesting

$$CH_4(1) = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{16}{12} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CH_4(1) = 10^{-6} \frac{\text{ton}}{\text{g}} \times 0,59 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 24,67 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,53 \times 1,33 \frac{\text{g } CH_4}{\text{g } C} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{\text{g } C}{\text{g } CH_4} \right) \right] = 0,00000531 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} = 0,000128 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}$$

$$CH_4(2) = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{16}{12} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CH_4(2) = 10^{-6} \frac{\text{ton}}{\text{g}} \times 0,59 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 24,67 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,53 \times 1,33 \frac{\text{g } CH_4}{\text{g } C} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{\text{g } C}{\text{g } CH_4} \right) \right] = 0,00000531 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} = 0,000128 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}$$

Keterangan:

Berdasarkan referensi pada tabel 2.2, nilai MCF_s fase *digesting* lumpur adalah 0,8.

Laju potensi emisi GRK total sebagai emisi tak terolah

Potensi emisi karbon dioksida (CO₂) total

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ total} &= CO_2 \text{ suspensi} + CO_2 \text{ digesting} \\ &= (0,28235 + 0,25153) \frac{\text{ton}}{\text{hari}} + (0,000324 + 0,000324) \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = \\ &0,535 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 195,10 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \end{aligned}$$

Potensi emisi metana (CH₄) total

$$\begin{aligned} CH_4 \text{ total} &= CH_4 \text{ suspensi} + CH_4 \text{ digesting} \\ &= (0,11123 + 0,09624) \frac{\text{ton}}{\text{hari}} + (0,000128 + 0,000128) \frac{\text{ton}}{\text{hari}} \\ &= 0,20773 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 75,82 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \end{aligned}$$

Rasio metana (CH₄) terhadap karbon dioksida (CO₂)

$$\frac{CH_4 \text{ total}}{CO_2 \text{ total}} = \frac{0,208 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}}{0,535 \frac{\text{ton}}{\text{hari}}} = 0,3886$$

B. Perhitungan kasus kedua (sesuai baku mutu)

Removal efisiensi COD dan BOD (%RE_{COD} dan %RE_{BOD})

$$\begin{aligned} \%RE_{BOD} &= \frac{[BOD_{inlet}] - [BOD_{outlet}]}{[BOD_{inlet}]} = \frac{17,33 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 6 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{17,33 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} \times 100\% \\ &= 65,38\% \end{aligned}$$

Laju akumulasi lumpur tersuspensi (Q_s)

$$Q_s = Q_s \text{ MLSS eksisting} = 0,59 \frac{m^3}{jam}$$

Yield biomassa lumpur organik volatil (λ)

$$\lambda = \frac{Q_s \times [MLVSS_s] \times CF_s}{Q_{ww} \times OD \times EF_{OD} \times CF_c}$$

Diketahui:

$$Q_s = 0,59 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$[MLVSS_s] = [MLVSS_{inlet}] = 24,67 \text{ g/m}^3$$

$$CF_s = 0,53 \text{ g C / g MLVSS (faktor koreksi nilai karbon; default)}$$

$$Q_{ww} = Q_{inlet} = 1029,57 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$OD = \text{oxygen demand organik volatil (sebagai [BOD])} = BOD_{inlet} = 17,33 \text{ g/m}^3$$

$$EF_{OD} = \%RE_{BOD} = 65,38\% = 0,6538$$

$$CF_c = \text{konsumsi C per oxygen demand} = 12/32 = 0,375 \text{ g C / g oxygen demand}$$

$$\lambda = \frac{0,59 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \frac{g C}{g MLVSS}}{1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 0,654 \times 0,375 \frac{g C}{g oxygen demand}} = 0,001752$$

Berdasarkan data dari perhitungan-perhitungan di atas, dapat dicari laju emisi GRK di Boezem Kalidami.

Laju potensi emisi GRK lumpur tersuspensi

Potensi emisi karbon dioksida (CO_2) fase suspensi

$$CO_2 = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CO_2} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CO_2 = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 0,654 \times 1,375 \frac{g CO_2}{g O_2} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,001752) \right] = 0,007688 \frac{ton}{jam} = 0,18450 \frac{ton}{hari}$$

Potensi emisi metana (CH₄) fase suspensi

$$CH_4 = 10^{-6} \times Q_{ww} \times OD \times Eff_{OD} \times CF_{CH_4} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})(1 - \lambda)]$$

$$CH_4 = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 1029,57 \frac{m^3}{jam} \times 17,33 \frac{g}{m^3} \times 0,654 \times 0,5 \frac{g CH_4}{g O_2} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \times (1 - 0,001752) \right] = 0,00303 \frac{ton}{jam} = 0,07268 \frac{ton}{hari}$$

Keterangan:

Berdasarkan referensi pada tabel 2.2, nilai MCF_{ww} fase suspensi air limbah pada kolam fakultatif > 2 meter adalah 0,8. Sedangkan BG_{CH₄} digunakan nilai default 0,65.

Laju potensi emisi GRK penguraian lumpur biomassa (digested biomass sludge)

Potensi emisi karbon dioksida (CO₂) fase digesting

$$CO_2 = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{44}{12} \times [(1 - MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CO_2 = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 0,59 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \times 3,67 \frac{g CO_2}{g C} \times \left[\left(1 - 0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \right] = 0,0000135 \frac{ton}{jam} = 0,000324 \frac{ton}{hari}$$

Potensi emisi metana (CH₄) fase digesting

$$CH_4 (1) = 10^{-6} \times Q_s \times MLVSS \times CF_s \times \frac{16}{12} \times [(MCF_{ww} \times BG_{CH_4})]$$

$$CH_4 (1) = 10^{-6} \frac{ton}{g} \times 0,59 \frac{m^3}{jam} \times 24,67 \frac{g}{m^3} \times 0,53 \times 1,33 \frac{g CH_4}{g C} \times \left[\left(0,8 \times 0,65 \frac{g C}{g CH_4} \right) \right] = 0,00000036 \frac{ton}{jam} = 0,0000086 \frac{ton}{hari}$$

Keterangan:

Berdasarkan referensi pada tabel 2.2, nilai MCF_s fase *digesting* lumpur adalah 0,8.

Laju potensi emisi GRK total

Potensi emisi karbon dioksida (CO₂) total

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ total} &= \text{CO}_2 \text{ suspensi} + \text{CO}_2 \text{ digesting} \\ &= 0,18450 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} + 0,000324 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 0,18483 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 67,462 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \end{aligned}$$

Potensi emisi metana (CH₄) total

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ total} &= \text{CH}_4 \text{ suspensi} + \text{CH}_4 \text{ digesting} \\ &= 0,07268 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} + 0,000128 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 0,07281 \frac{\text{ton}}{\text{hari}} = 26,576 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \end{aligned}$$

5.2.3.4 Analisis hasil perhitungan skenario 1 dan 2

Setelah dilakukan perhitungan dari skenario yang telah ditentukan, dapat diketahui besarnya emisi CO₂ dan CH₄ dari masing-masing skenario. Ringkasan dari hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.4. Selanjutnya dapat dianalisis hasil dari masing-masing skenario untuk mengetahui perbedaannya.

Tabel 5.4 Ringkasan Hasil Perhitungan Potensi Emisi CO₂ dan CH₄ Skenario 1 dan 2

Skenario	Emisi CO ₂ (ton/tahun)		Emisi CH ₄ (ton/tahun)		Keterangan
	Eksisting	Sesuai BM	Eksisting	Sesuai BM	
Pertama	192,466	67,462	75,820	26,576	Pada upaya pemanfaatan kemampuan fiksasi alga di boezem
Kedua	195,102	67,462	75,820	26,576	Pada upaya perencanaan periode pengerukan lumpur

Perbedaan hasil perhitungan pada kasus eksisting dan sesuai baku mutu

Perhitungan efisiensi removal *oxygen demand* (BOD) pada kasus pertama menunjukkan nilai negatif karena kualitas air di outlet boezem lebih buruk dari inletnya. Pengukuran dilakukan pada masa awal peralihan ke musim hujan dan diasumsikan masih berada pada musim kemarau. Pada kondisi ini secara sederhana dapat disimpulkan bahwa boezem tidak mampu mendegradasi seluruh polutan yang masuk, namun pada kajian ini tetap dilakukan perhitungan potensi GRK yang dihasilkan dari proses degradasi air limbah secara sempurna.

Diperlukan modifikasi langkah agar dapat dilakukan perhitungan emisi GRK. Pada perhitungan ini modifikasi dilakukan melalui 2 kali perhitungan yaitu pertama pada removal *oxygen demand* 100% dari seluruh pencemar yang masuk dan terolah sempurna. Sedangkan perhitungan kedua berasal dari penambahan sisa kelebihan pencemar dari outlet yang tidak dapat terolah sebagai tambahan emisi. Perlu dicatat di sini bahwa emisi yang diprediksi pada kasus pertama masih dianggap sebagai potensi yang tidak teremisikan karena kondisi eksisting kolam stabilisasi tidak dapat mendegradasi seluruh air limbah domestik yang masuk.

Perhitungan pada skenario kedua identik dengan skenario pertama. Perbedaan hanya terdapat pada penggunaan data parameter effluen (outlet boezem). Pada skenario pertama digunakan parameter eksisting, sedangkan pada skenario kedua ini dikondisikan ketika boezem mampu mereduksi parameter hingga mencapai baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Digunakan baku mutu badan air kelas III berdasarkan PP RI Nomor 82 Tahun 2001 agar diperoleh kualitas air yang diharapkan. Diasumsikan seluruh air limbah yang masuk seluruhnya terdegradasi sempurna menjadi GRK.

Berdasarkan perhitungan mengenai removal efisiensi BOD, terlihat bahwa kondisi eksisting Boezem Kalidami berdasarkan uji parameter air menunjukkan rendahnya potensi pemanfaatan Boezem Kalidami sebagai kolam stabilisasi. Berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja Boezem Kalidami sehingga tidak berfungsi seperti kolam stabilisasi perlu dipelajari.

Kondisi optimum dapat terjadi saat musim kemarau karena boezem berada pada fase fakultatif (kedalaman psikologis muka air 2 meter). Kondisi ini menguntungkan aktivitas degradasi air limbah karena proses simbiosis bakteri dan alga di boezem lebih dominan. Faktor-faktor yang kemungkinan mendukung (*favorable*) proses tersebut antara lain ada dua yaitu suhu dan tipe aliran air.

Faktor pertama ialah suhu. Suhu di Surabaya saat itu berkisar 30-35°C memungkinkan bakteri heterotrofik sangat aktif mendegradasi polutan organik. Kemudian faktor kedua yaitu aliran air yang cenderung tenang (laminer) dengan kedalaman air yang rendah memungkinkan pengendapan lumpur dari simbiosis alga-bakteri menjadi lebih cepat ditambah lagi potensi resupensi lumpur yang lebih rendah karena aliran yang lebih laminer.

Pada kondisi pengendalian emisi CH₄ dari unit pengolahan air limbah, akumulasi lumpur yang terendapkan tadi menjadi potensi bahaya. Data uji laboratorium menunjukkan pH yang cenderung basa berkisar 7-8. Walaupun pH cenderung basa mengurangi potensi terbentuknya gas N₂O (Law dkk., 2009), hal ini berlaku sebaliknya dengan CH₄ karena bakteri metanogen menjadi sangat aktif pada kondisi pH mendekati 8. Selain itu didukung suhu yang juga ideal berkisar 30-35°C (Dharma dan Bustomi, 2017). Pengendalian emisi gas rumah kaca terutama CH₄ perlu dilakukan untuk mereduksi dampak perubahan iklim. Prediksi reduksi emisi gas rumah kaca di Boezem Kalidami dari upaya mitigasi yang sesuai akan dibahas pada sub bab 5.3

Perbedaan hasil perhitungan skenario 1 dan skenario 2

.Perbedaan hasil perhitungan dapat dilihat pada skenario kedua fase suspensi CO₂ eksisting. Pendekatan penggunaan data eksisting dari akumulasi volumetrik lumpur (Qs MLSS eksisting) pada skenario kedua tidak menyebabkan perubahan nilai perhitungan signifikan selain perhitungan yang telah disebutkan. Pada kondisi eksisting, peningkatan laju akumulasi lumpur cenderung meningkatkan emisi CO₂ karena juga terdapat potensi pelepasan CO₂ dari sedimentasi non-biogenik (kimia air) seperti dari senyawa karbonat (van Amstel, 2012; Wang dkk., 2008).

Selisih perhitungan antara data eksisting (empiris) dengan perhitungan stoikiometri (teoritis) dapat terjadi karena pada kondisi sesungguhnya di alam, reaksi sangat kompleks dan tak dapat

diprediksi seluruhnya. Contoh pola perbedaan ini dapat dilihat pada penelitian endapan lumpur Boezem Morokrempangan Selatan oleh Fitrianingtyas dan Slamet (2018). Penelitian tersebut menunjukkan perbedaan nyata dari hasil pengukuran lumpur suspensi secara empiris menggunakan metode *imhoff cone* dapat menghasilkan nilai lumpur yang lebih besar dari perhitungan teoritis secara *mass balance*.

Selisih perhitungan yang didapatkan kemungkinan besar akan lebih tinggi pada kondisi sesungguhnya (empiris), itulah sebabnya pada pendekatan teoritis selalu digunakan faktor koreksi perhitungan karena rawan terjadi simpangan data. Walaupun tidak selalu berlaku pada kasus yang berbeda, namun tinjauan-tinjauan terkait hal ini akan dapat meningkatkan ketelitian pada penelitian yang akan dilakukan selanjutnya.

5.2.3.5 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Data Emisi dari Referensi Lain

Emisi total gas rumah kaca pada Boezem Kalidami dapat dibandingkan dengan contoh kasus lain untuk mengetahui porsi masing-masing emisi. Pada contoh kasus berikut hanya ditemukan data emisi CO₂ untuk ditampilkan. Perbandingan contoh kasus dilakukan pada jenis emisi dengan karakteristik yang sama. Pada kasus ini, karakteristik adalah berdasarkan sumber emisi yaitu pada sektor air limbah domestik.

Pembandingan pada data berikut adalah data statistik tahun 2018 emisi GRK dari Dirjen Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Selanjutnya data ini dibandingkan dengan perhitungan emisi CO₂ pada 3 skenario yang telah direncanakan dan pada 1 referensi lain yang didapatkan. Perbandingan kontribusi emisi boezem terhadap total emisi pengolahan air limbah domestik dapat dilihat pada tabel 5.5.

Pada perbandingan tersebut, terlihat bahwa kontribusi Boezem Kalidami pada skenario 2 yaitu saat effluen mencapai baku mutu badan air kelas III terhadap total emisi pengolahan air limbah domestik Jawa Timur yang diinventarisasikan kurang dari 1%. Berbeda halnya dengan kontribusi Boezem Morokrempangan Selatan yang melebihi nilai 5%. Nilai ini berbeda karena kedua

boezem memiliki perbedaan karakteristik seperti kualitas air limbah yang masuk dan luasan boezem.

Tabel 5.5 Perbandingan Contoh Kasus Total Emisi CO₂ Pada Sektor Air Limbah Domestik

Sumber	Emisi CO ₂ (Gg CO ₂ equivalen/ tahun)					Rata-rata	Kontribusi ^(b)
	2013	2014	2015	2016	2017		
Data Emisi Jawa Timur^(a)							
Pengolahan lumpur air limbah domestik	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	2,6%
Effluen air limbah domestik	19,89	20,45	21,16	21,87	22,83	21,24	97,4%
Total digesting + air limbah	20,46	21,02	21,73	22,44	23,40	21,81	
Boezem Kalidami (2019)							
Skenario Pertama Eksisting	0,1925 Gg CO ₂ eq/ tahun						0,88 %
Skenario Pertama Baku Mutu	0,0675 Gg CO ₂ eq/ tahun						0,31%
Skenario Kedua Eksisting	0,1951 Gg CO ₂ eq/ tahun						0,89 %
Skenario Kedua Baku Mutu	0,0675 Gg CO ₂ eq/ tahun						0,31 %
Boezem Morokrengan Selatan (2017)^(c)							
Total digesting + air limbah	2,13 Gg CO ₂ eq/ tahun						9,76%

Keterangan:

(a) statistik direktorat jenderal pengendalian perubahan iklim tahun 2018

(b) kontribusi terhadap total emisi CO₂ pada sektor pengolahan air limbah domestik di jawa timur yang diinventarisasikan

(c) Puspita dan Tangahu (2018)

Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh luasan boezem dan kualitas air yang masuk ke boezem terhadap laju

potensi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan. Berdasarkan hal tersebut, sebaiknya boezem-boezem di Surabaya yang berjumlah 72 unit juga turut serta diinventarisasikan sebagai unit kolam stabilisasi pada upaya mitigasi (pengendalian) perubahan iklim.

5.3 Prediksi Reduksi Emisi CO₂ dan CH₄ pada Boezem Kalidami pada Skenario yang Telah Ditentukan

Emisi GRK harus dipantau dan dikendalikan untuk mengurangi laju perubahan iklim. Reduksi emisi GRK dilakukan dengan upaya yang menyesuaikan jenis GRK dan juga pertimbangan dalam kemudahan pengaplikasiannya pada kondisi sistem yang dikelola. Pada penelitian ini dibahas upaya reduksi GRK yang berasal dari emisi CO₂ dan CH₄ yang berasal dari Boezem Kalidami dengan memanfaatkan potensi yang ada. Reduksi CO₂ dapat dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan fiksasi CO₂ oleh alga yang secara alami tumbuh di Boezem Kalidami. Sedangkan reduksi CH₄ dapat dilakukan dengan merencanakan periode pengerukan.

5.3.1 Prediksi Reduksi Karbon Dioksida (CO₂) oleh Alga Alami Boezem

Fiksasi CO₂ oleh alga dapat terjadi melalui mekanisme fotosintesis (Xin, 2011). Perlu diketahui bahwa fotosintesis dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga besarnya fiksasi tidak pernah seragam. Faktor yang mempengaruhi proses fiksasi CO₂ oleh alga pada proses fotosintesis seperti intensitas cahaya pada fungsi kedalaman, toksisitas perairan seperti keberadaan nitrat, pertumbuhan biomassa alga, serta keseimbangan biokimia perairan yang mendukung proses fotosintesis seperti hubungan pH dan besarnya CO₂ bebas di siklus karbon di perairan (Setoaji dan Hermana, 2013).

5.3.1.1 Prediksi besaran biomassa alga

Besarnya biomassa alga digunakan untuk mengetahui kemampuan alga dalam melakukan fiksasi CO₂. Nilai ini sangat sulit untuk diukur secara langsung sehingga memerlukan pendekatan stoikiometri. Pendekatan stoikiometri biomassa alga diperoleh dari aktivitas klorofil-A dari sampel, namun perlu

dilakukan penyetaraan pada tiap genus alga karena perbedaan konsentrasi klorofil-A.

Pada penelitian Yacobi dan Zohari (2010), didapatkan faktor penyetaraan klorofil-A untuk alga jenis cyanophyta adalah 83. Seperti yang diketahui bahwa genus alga yang dominan di Boezem Kalidami adalah *Oscillatoria* sp. Dan *Eucapsis* sp. (Perkasa dan Soedjono, 2013) yang termasuk ke dalam jenis alga cyanophyta. Selanjutnya perhitungan dilanjutkan dengan mengalikan volume reaktor yang ditumbuhi oleh alga.

Volume reaktor adalah fungsi luas dan kedalaman boezem. Kedalaman boezem adalah kedalaman yang ditumbuhi oleh alga sehingga perlu dilakukan pengukuran kecerahan badan air (*secchi depth*). Pada penelitian ini tidak dimungkinkan dilakukan pengukuran *secchi depth* tetapi akan digunakan referensi dari penelitian sebelumnya. Digunakan kedalaman cerah (*secchi depth*) rata-rata dari penelitian di Boezem Morokrengan Selatan sebesar 0,39 meter (Puspita dan Tangahu, 2018). Besarnya biomassa alga selanjutnya dapat diprediksi dengan pendekatan tersebut.

$$Biomassa\ alga = [chl_A] \times 83 \times \frac{1\ g}{1000\ mg} \times A \times H$$

$$\begin{aligned} Biomassa\ alga &= 2,57 \frac{mg}{m^3} \times 83 \times 27000m^2 \times \frac{1\ g}{1000\ mg} \times 0,39m \\ &= 2241,784\ g\ alga \end{aligned}$$

5.3.1.2 Prediksi reduksi karbon dioksida (CO₂) oleh alga

Setelah diketahui besarnya biomassa alga, dapat dilakukan perhitungan laju fiksasi CO₂ oleh alga. Pada perbandingan stoikiometri, beberapa penelitian terkait alga menggunakan pendekatan 1 gram sel alga setara dengan 1,92 kali CO₂ yang difiksasi oleh alga tersebut (Setoaji dan Hermana, 2013; Puspita dan Tangahu 2018). Apabila diasumsikan alga aktif selama 10 jam per hari dengan intensitas cahaya optimum, didapatkan laju fiksasi CO₂ oleh alga.

$$Laju\ fiksasi\ CO_2 = biomassa\ alga \times 1,92 \frac{g\ CO_2}{g\ alga} \times \frac{24\ jam/hari}{10\ jam}$$

$$\text{Laju fiksasi } CO_2 = 2241,784 \text{ g alga} \times 1,92 \frac{\text{g } CO_2}{\text{g alga}} \times \frac{24 \text{ jam/hari}}{10 \text{ jam}} = 10330,142 \frac{\text{g } CO_2}{\text{hari}}$$

Selanjutnya dilakukan potensi reduksi CO₂ oleh alga pada ketiga skenario. Reduksi didapatkan dari perbandingan laju fiksasi CO₂ oleh alga terhadap total emisi CO₂ di Boezem. Ringkasan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 5.6.

$$\text{Reduksi } CO_2 = \frac{10330,142 \frac{\text{g } CO_2}{\text{hari}}}{\text{total emisi } CO_2 \text{ per skenario}}$$

Tabel 5.6 Ringkasan Hasil Perhitungan Reduksi CO₂ Skenario 1 dan Skenario 2

Laju Fiksasi (ton CO ₂ / hari)	Skenario	Emisi Total (ton CO ₂ / hari)	Reduksi CO ₂ (%)	Keterangan
0,010	Pertama Eksisting	0,527	1,96	Diasumsikan terjadi proses fotosintesis ideal
	Pertama Sesuai Baku Mutu	0,185	5,59	
	Kedua Eksisting	0,535	1,93	
	Kedua Sesuai Baku Mutu	0,185	5,59	

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh, pendekatan skenario 1 dan skenario 2 pada kondisi eksisting di Boezem Kalidami menghasilkan potensi reduksi sebesar 1,96% dan 1,93%. Nilai ini jauh dari penelitian sebelumnya di Boezem Morokrengan yang berkisar 31,8% (Puspita dan Tangahu, 2018). Banyak faktor yang perlu dikaji agar diperoleh pertumbuhan alga yang optimal seperti perbandingan substrat nutrien, pH, suhu permukaan, pencahayaan, oksigen terlarut, kecepatan arus, dan

CO₂ bebas (Berkman dan Canova, 2007; Semedi dan Safitri, 2015; Setoaji dan Hermana, 2013).

Sebagai contoh dapat dilihat dari perbandingan nilai DO pada Boezem Kalidami yang rata-rata berkisar di bawah 0,5 mg/L, sedangkan Boezem Morokrengan Selatan rata-rata berkisar di atas 1,5 mg/L (Puspita dan Tangahu, 2018). Hal ini belum ditambah dengan indikasi keberadaan CO₂ bebas perairan yang rendah, ditinjau dari nilai pH cenderung basa mendekati 8.

Ada kecenderungan CO₂ pada kondisi basa berikatan membentuk senyawa karbonat dan mengendap bersama lumpur (Setoaji dan Hermana, 2013). Hal tersebut menunjukkan bahwa Boezem Kalidami memiliki kondisi yang kurang mendukung pemanfaatan alga di Boezem Kalidami sehingga reduksi CO₂ tidak dapat maksimal.

Walaupun demikian, penerapan boezem sebagai unit *pretreatment* air limbah domestik di Surabaya masih dapat dipertimbangkan untuk diterapkan pada pembangunan boezem-boezem baru dengan beberapa catatan. Melalui perencanaan yang memperhatikan banyak aspek lingkungan dapat dilakukan modifikasi desain.

Beberapa masalah mungkin akan ditemui pada pelaksanaan di lapangan. Diketahui dari wawancara dengan salah satu staff Dinas Pekerjaan Umum, Bina Marga, dan Pematusan sub bidang drainase bahwa perencanaan boezem di Surabaya sebagian besarnya belum memiliki gambar teknis. Pembangunan boezem hanya berdasarkan sketsa yang bahkan juga tidak diarsipkan sehingga sulit untuk ditinjau ulang. Hal ini sebaiknya dapat menjadi bahan peninjauan oleh pengelola Boezem Kalidami yaitu Dinas Pekerjaan Umum, Bina Marga, dan Pematusan Kota Surabaya untuk membuat panduan pengelolaan kualitas air boezem akibat pencemaran air limbah domestik.

5.3.2 Prediksi Reduksi Metana dengan Perencanaan Periode Pengerukan

Berdasarkan referensi yang telah disebutkan pada bab 2, reduksi CH₄ dapat dimungkinkan dengan upaya pemantauan berkala. Upaya yang dapat dilakukan antara lain mengurangi laju timbulan di sistem, menangkap CH₄ yang dihasilkan oleh sistem atau dengan memodelkan reaksi alami pembentukan CH₄ menjadi

senyawa karbonat dan metan-hidrat yang kompleks (Van Amstel, 2012).

Upaya penangkapan CH₄ tidak mungkin dilakukan pada Boezem Kalidami karena terbatasnya kemampuan alat penangkap CH₄ terhadap sistem yang terlalu besar dan terbuka. Selanjutnya upaya memperhitungkan reaksi alami dari presipitasi metana dapat dimodelkan tapi masih terlalu kompleks untuk penerapan di Boezem Kalidami. Sehingga, upaya yang paling mungkin dilakukan adalah mengurangi laju timbulan di sistem sebagai alternatif paling sederhana ekonomis..

Laju timbulan di sistem dapat direkayasa dengan melakukan upaya pengerukan endapan lumpur yang dihasilkan. Pengerukan dapat digambarkan secara sederhana pada fungsi persamaan antara, massa, volume, dan juga waktu. Kelemahannya adalah pemantauan ini sangat bergantung kepada data sekunder pengerukan yang diperoleh.

5.3.2.1 Prediksi reduksi metana (CH₄) dengan perencanaan periode pengerukan

Prediksi reduksi CH₄ dari pengerukan dapat diketahui dari perhitungan potensi lumpur suspensi (mixed liquor) yang terkonversi menjadi CH₄. Nilai ini kemudian dimasukkan ke fungsi waktu tinggal lumpur. Sebagai catatan, digunakan asumsi bahwa nilai CH₄ adalah sebanding dengan jumlah lumpur endapan. Perbandingan senilai yang dimaksud adalah antara waktu tinggal lumpur dengan jumlah hari setahun sehingga dihasilkan potensi reduksi tahunan (*year on year*).

$$\%Reduksi = \frac{\text{waktu tinggal lumpur}}{\text{jumlah hari setahun}} \times 100\%$$

Pada hasil perhitungan emisi CH₄ pada skenario 1 dan skenario 2, peningkatan laju akumulasi lumpur (Qs MLSS eksisting) tidak memberikan perbedaan signifikan pada emisi CH₄ tahunan, sehingga akan diabaikan dan diasumsikan tipikal pada skenario 1 dan skenario 2. Digunakan nilai waktu tinggal lumpur dari referensi bahwa waktu optimum pembentukan CH₄ pada siklus anaerobik kolam stabilisasi tipe fakultatif-anaerobik adalah maksimum 50 hari (de Mes dkk., 2018). Berikut adalah potensi reduksi jika waktu tinggal dibandingkan secara tahunan.

$$\%Reduksi(\text{tipikal}) = \frac{50 \text{ hari}}{365 \text{ hari}} \times 100\% = 13,7\%$$

5.3.2.2 Kebutuhan ritasi pengerukan

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan kebutuhan ritasi minimum per waktu tinggal lumpur. Didapatkan kebutuhan ritasi pengerukan menggunakan truk berkapasitas 6 m³ pada waktu tinggal 50 hari sebanyak 124 ritasi.

$$\text{Ritasi minimum} = \frac{\text{vol sludge eksisting} \times \text{waktu tinggal lumpur}}{\text{vol truk} \times 365 \text{ hari}}$$

$$\begin{aligned} \text{Ritasi minimum} &= \frac{5406 \frac{\text{m}^3}{\text{tahun}} \times 50 \text{ hari}}{6 \frac{\text{m}^3}{\text{truk}} \times 365 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}} = 123,4 \frac{\text{truk}}{50 \text{ hari}} \\ &= 124 \frac{\text{truk}}{50 \text{ hari}} \end{aligned}$$

5.4 Kajian Kesesuaian Kualitas Air Boezem Kalidami dengan Baku Mutu

Boezem Kalidami dikategorikan sebagai badan air kelas III berdasarkan Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 02 Tahun 2004. Diperlukan pemantauan kualitas air secara berkala minimum 6 bulan sekali agar dapat dilakukan upaya pengoptimalan potensi Boezem Kalidami sebagai kolam stabilisasi fakultatif-anaerobik. Perbandingan hasil uji kualitas air rata-rata di outlet selama 5 hari pengukuran terhadap 2 peraturan pemerintah yang terkait dapat dilihat pada tabel 5.7 - 5.8.

Tabel 5.7 Perbandingan Uji Parameter Boezem Kalidami Rata-Rata dengan Baku Mutu Air Limbah 1

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji Outlet	Baku Mutu 1 ^(a)	Keterangan
1	Suhu	°C	32,33	Deviasi 3	Memenuhi
2	pH	-	7,73	6-9	Memenuhi

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji Outlet	Baku Mutu 1 ^(a)	Keterangan
3	TSS sebagai MLSS	mg/L	45,33	400	Memenuhi
4	MLVSS	mg/L	29,33	-	-
5	DO	mg/L	0,23	3	Tidak Memenuhi
6	COD	mg/L	33,33	50	Memenuhi
7	BOD	mg/L	18,33	6	Tidak Memenuhi
8	Klorofil-A	mg/m ³	3,44	-	-
9	Salinitas	‰	0,76	0,03 ^(c)	-

Tabel 5.8 Perbandingan Uji Parameter Boezem Kalidami Rata-Rata dengan Baku Mutu Air Limbah 2

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji Outlet	Baku Mutu 2 ^(b)	Keterangan
1	Suhu	°C	32,33	-	-
2	pH	-	7,73	6-9	Memenuhi
3	TSS sebagai MLSS	mg/L	45,33	50	Memenuhi
4	MLVSS	mg/L	29,33	-	-
5	DO	mg/L	0,23	-	-
6	COD	mg/L	33,33	50	Memenuhi
7	BOD	mg/L	18,33	30	Memenuhi
8	Klorofil-A	mg/m ³	3,44	-	-
9	Salinitas	‰	0,76	-	-

Keterangan:

^(a) baku mutu badan air kelas III berdasarkan PP RI 82/ 2001

^(b) baku mutu badan air limbah domestik berdasarkan Pergub Jatim 72/2013

(c) pada PP RI 82/ 2001 tidak dicantumkan, pada tabel ini dibandingkan dengan klorin bebas namun bukan digunakan sebagai referensi

Pada kajian ini, perbandingan hasil uji parameter terhadap baku mutu perlu dilakukan untuk melakukan pertimbangan kelayakan penerapan Boezem Kalidami sebagai kolam stabilisasi terhadap kondisi eksisting. Dapat dilihat perbandingan hasil uji di lapangan terhadap PP RI Nomor 82 Tahun 2001 pada tabel 5.24 bahwa terdapat parameter BOD yang jauh dari layak sehingga perlu ditinjau ulang penerapan Boezem Kalidami sebagai badan air kelas III. Walaupun demikian, Boezem Kalidami masih berpotensi untuk dapat difungsikan sebagai unit *pretreatment* air limbah domestik mengacu pada Pergub Jatim Nomor 72 Tahun 2013 dapat dilihat pada tabel 5.25.

Pengelolaan kualitas air yang baik pada saluran primer Kalidami dapat meningkatkan fungsinya sebagai badan air kelas III. Upaya yang dapat dilakukan antara lain dengan mengontrol kualitas parameter pada inlet dan outlet seperti peningkatan pengelolaan hulu saluran, pengaturan pintu air lebih ketat untuk mencegah *backwater* dan meminimalkan beban organik dari input liar (selain inlet boezem), maupun juga pembersihan sampah pada *barscreen* dan sekitar boezem secara rutin. Setelah dilakukan upaya reduksi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan pada Boezem Kalidami tersebut, diharapkan pengelolaan dan pemantauan emisi GRK dapat dilakukan dengan lebih optimal.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan Penelitian

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan pada bab 5, dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini. Menjawab tujuan penelitian ini, maka terdapat 2 kesimpulan sebagai berikut.

1. Didapatkan prediksi potensi emisi berasal dari Boezem Kalidami pada skenario 1 (memanfaatkan fiksasi CO₂ oleh alga alami boezem) kondisi eksisting sebesar 192,466 ton CO₂/ tahun dan 75,820 ton CH₄/ tahun, kondisi sesuai baku mutu sebesar 67,462 ton CO₂/ tahun dan 26,576 ton CH₄/ tahun. Sedangkan pada skenario 2 (merencanakan periode pengerukan lumpur) kondisi eksisting sebesar 195,103 ton CO₂/ tahun dan 75,820 ton CH₄/ tahun, kondisi sesuai baku mutu sebesar 67,462 ton CO₂/ tahun dan 26,576 ton CH₄/ tahun.
2. Selanjutnya didapatkan potensi reduksi emisi CO₂ dengan memanfaatkan fiksasi CO₂ oleh alga, pada skenario 1 dan 2 kondisi eksisting masing-masing 1,96% per hari dan 1,93% per hari. Selain itu, didapatkan pula potensi reduksi emisi CH₄ tipikal pada kedua skenario sebesar 13,7% per tahun dengan perencanaan periode pengerukan lumpur setiap 50 hari sekali dan kebutuhan truk berkapasitas 6m³ sebanyak 124 ritasi pada setiap pengerukan.

6.2 Saran untuk Penelitian Selanjutnya

Saran pada penelitian ini diharapkan dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya agar dapat diketahui faktor-faktor lain yang berpengaruh ataupun tidak dapat dibahas secara spesifik pada penelitian ini. Berikut ini adalah saran pada penelitian ini.

1. Melakukan kajian pengaruh *coastal backwater* air laut terhadap proses stabilisasi di suatu boezem.
2. Melakukan pengukuran emisi dan potensi reduksinya dari beberapa kemungkinan skenario lain. Pengukuran sebaiknya dilakukan pada dua musim (kemarau dan penghujan) agar dapat dibandingkan perbedaan secara kuantitas dan kualitasnya.

3. Melakukan uji kecerahan (*secchi depth*) apabila kondisi di lapangan memungkinkan, agar perhitungan biomassa alga dapat lebih representatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Adani, N.G., Muskanonfolo, M.R., dan Hendrarto, I.B. 2013. "Kesuburan Perairan Ditinjau dari Kandungan Klorofil-A Fitoplankton: Studi Kasus di Sungai Wedung, Demak". *Management of Aquatic Resources*. Vol. 2, No. (4), Hal. 38-45.
- Agustira, R., Lubis, K.S., dan Jamilah. 2013. "Kajian Karakteristik Kimia Air, Fisika Air, dan Debit Sungai Pada Kawasan DAS Padang Akibat Pembuangan Limbah Tapioka". *Jurnal Agroekoteknologi*. Vol. 1, No. (3).
- Al-Hashimi, M.A. dan Hussain, H.T. 2013. "Stabilization Pond For Wastewater Treatment". *European Scientific Journal*. Vol. 9, No. (14).
- American Public Health Association (APHA). 2012. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 22nd Edition*. USA.
- Ardhanareswari, S.A. dan Herumurti, W. 2011. *Pengaruh Durasi Pencahayaan dan Kedalaman High Rate Algal Reactor HRAR Terhadap Penurunan Nitrogen dan Fosfat Limbah Perkotaan*. Tugas Akhir. Surabaya (ID): Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Aryawati, R. dan Thoha, H. 2011. "Hubungan Kandungan Klorofil-A dan Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Berau Kalimantan Timur". *Maspri Journal*. Vol. 2, Hal. 89-94.
- Badan Pusat Statistik Kota Surabaya. 2017. *Kota Surabaya Dalam Angka 2018*. Surabaya (ID).
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan*. 6989.57.2008.
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. *Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai dan Saluran Terbuka Menggunakan Alat Ukur Arus dan Pelampung*. 8066.2015.
- Bappeda Tk.I Jawa Timur. 1995. *Panduan Pelatihan Manajemen Laboratorium*. Surabaya (ID).
- Basmi, H.J. 2000. *Planktologi: Plankton sebagai Indikator Kualitas Perairan*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Berkman, J.A.H. dan Canova, M.G. 2007. *Algal Biomass Indicator*. Geological Survey TWRI Book 9.

- Bitton, G. 2005. *Wastewater Microbiology – Third Edition*. Florida (US): John Wiley & Sons Publication.
- Boyd C.E. 1990. *Water Quality in Warm Water Fish Pond*. Auburn Alabama (US): Departemen of Fisheries Allied Aquaculture, Agriculture Experimental Station Auburn University.
- Campos, J.L., Valenzuela-heredia, D., Pedrouso, A., Belmonte, M., dan Mosquera-Corral A. 2016. "Greenhouse Gases Emissions from Wastewater Treatment Plants: Minimization, Treatment, and Prevention". *Journal of Chemistry*. Vol. 1, Hal. 1-12.
- Daelman, M.R.J., Voorthuizen W.M.V., Dongen U.G.J.M.V., Volcke E.I.P., dan Loosdrecht M.C.M.V. 2012. "Methane Emission During Municipal Wastewater Treatment". *Water Research*. Vol. 46, No. (11), Hal. 3657-3670.
- De Mes, T.Z.D., Stams, A.J.M., dan Zeeman, G. 2003. *Bio-Methane & Bio-Hydrogen: Status and Perspective of Biological Methane and Hydrogen Production. Chapter 4: Methane Production by Anaerobic Digestion of Wastewater and Solid Wastes*. Petten (NL) : Dutch Biological Hydrogen Foundation.
- Delre, A. 2018. *Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants: Measurements and Carbon Footprint Assessment*. PhD Thesis. Denmark: Departemen of Environmental Engineering Technical University of Denmark.
- Dharma, U.S. dan Bustomi, H. 2017. "Pengaruh Temperatur Digester Sistem Kontinyu terhadap Produksi Biogas Berbahan Baku Blotong". *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*. Vol. 6, No. (2), Hal. 218-225.
- Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Pematusan (DPUBMP) Surabaya. 2019. *Berkas Inventarisasi Sistem Drainase Kota Surabaya*.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta (ID): Penerbit Kanisius.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta (ID): Penerbit Kanisius.
- Firdausi, M., Riani, E., dan Prariono, T. 2016. *Analisis Karakteristik Rumah Tangga terhadap Tingkat Emisi Karbon Studi Kasus*

- Kecamatan Pangandaran*. Tesis. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Fitrianingtyas, R. dan Slamet, A. 2018. "Studi Pemetaan Persebaran Sedimen Bozem Morokrengan". *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 7, No. (1), Hal. 2337-3520.
- Foxon, K.M., Buckley, C.A., Brouckaert, C.J., Dama, P., Mtembu, Z., Rodda, N., Smith, M., Pillay, S., Arjun, N., Lalbahadur, T., dan Bux, F. 2006. *The Evaluation of the Anaerobic Baffled Reactor for Sanitation in Dense Peri-Urban Settlements*. Report to the Water Research Commission. Durban (ZA).
- Galinha, F.C., Sanches, S., dan Crespo, J.G. 2018. *Fundamental Modelling of Membrane Systems - Membrane and Process Performance. Chapter 6 : Membrane Bioreactors*. Artikel Ilmiah Online: Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012813483200006X>. Diakses pada September 2019.
- Gupta, D. dan Singh, S.K. 2012. "Greenhouse Gas Emission from Wastewater Treatment Plant: A Case Study of Noida". *Journal of Water Sustainability*. Vol. 2, No. (2), Hal. 131-139.
- Hermanus, M.B., Polii, B., dan Mandey, L.C. 2015. "Pengaruh Perlakuan Aerob dan Anaerob terhadap Variabel BOD, COD, pH dan Bakteri Dominan Limbah Industri Dessicated Coconut PT. Global Coconut Radey, Minahasa Selatan". *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. Vol. 3, No. (2), Hal. 48-59.
- Humas Pemerintah Kota Surabaya. 2019. *Tambah Tujuh Bozem di 2019, Total Luas Bozem di Surabaya Capai 147,5 Hektar*. 8 April 2019. Artikel Online. <https://humas.surabaya.go.id/2019/04/08/tambah-tujuh-bozem-di-2019-total-luas-bozem-di-surabaya-capai-1475-hektar/>. Diakses pada Juni 2019.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol. 5: Waste.
- Joetata, H. 1997. *Drainase Perkotaan*. Jakarta (ID): Universitas Gunadarma.
- Kargi, F. dan Dincer, A.R. 1996. "Effect of Salt Concentration on

Biological Treatment of Saline Wastewater by Fed- Batch Operation”. *Enzyme and Microbial Technology*. Vol. 19, Hal. 681-687.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2019. *Statistik Tahun 2018 Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim*. Laporan Resmi Online Instansi.

http://ditjenppi.menlhk.go.id/reddplus/images/adminppi/dokumen/statistik_PPI_2018_opt.pdf. Diakses pada Januari 2020.

Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2003. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air*. Jakarta (ID).

Kustiasih, T. dan Medawati, I. 2017. “Kajian Potensi Gas Metan (CH₄) dari Pengolahan Air Limbah Domestik sebagai Upaya Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca”. Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman. *Jurnal Masalah Bangunan*. Vol. 52, No. (1), Hal. 30-38.

Law, Y., Ye, L., dan Yuan Z. 2012. “Nitrous Oxide Emissions from Wastewater Treatment Processes”. *Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Science*. Vol. 367, No. (1593), Hal. 1265-1277.

Leentvar, J. dan Rebhun, J. 1982. “Effect of Magnesium and Calcium Precipitation on Coagulation-Flocculation with Lime”. *Water Res*. Vol. 16, No. (1), Hal. 655-662

Ma, Z-Y., Feng, P., Gao, Q-X., Lu, Y-N., Liu, J-R., dan Li, W-T. 2015. “CH₄ Emission and Reduction Potential in Wastewater Treatment in China”. *Advances in Climate Change Research*. Vol. 6, Hal. 216-224.

Mahida, U.N., 1986. *Pencemaran dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta (ID): Penerbit Rajawali Press.

Mahmood, Q., Pervez, A., Zeb, B.S., Zaffar, H., Yaqoob, H., Waseem, M., Zahidullah, dan Afsheen, S. 2013. “Natural Treatment Systems as Sustainable Ecotechnologies for the Developing Countries”. *Biomed Research International – Hindawi Publishing Corporation*. Artikel Ilmiah - ID 796373. Vol. 2013, Hal. 1-19.

- Mangkoedihardjo, S. dan Samudro. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta (ID): Graha Ilmu.
- Manurung, R. 2004. *Proses Anaerobik sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit*. Lecture Papers. Medan (ID): Universitas Sumatera Utara.
- Mara, D. 2003. *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. London (UK) dan Virginia (US): Earthscan Publisher.
- Masduqi, A. dan Assomadi, A.F. 2012. *Operasi & Proses Pengolahan Air*. Surabaya (ID): ITS Press.
- Maulana, M.F., Sudarno, dan Wardhana, I.W. 2013. "Pengaruh Pengenceran dan Pengadukan Limbah Industri Ikan Nila terhadap Peningkatan Produksi Biogas dengan Menggunakan Rumen Sapi sebagai Starter". *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 2, No. (3), Hal. 1-11.
- Metcalf dan Eddy Inc. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Dispose, and Reuse, 3rd edition (revised by G Tchobanoglous and F.L. Burton)*. New York (US): Mc Graw Hill.
- Metcalf dan Eddy Inc. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4th edition*. New York (US): Mc Graw Hill.
- Mike, P. 2009. "Algal Capture of Carbon Dioxide; Biomass Generation as Tool for Greenhouse Gas Mitigation with Reference to New Zealand Energy Strategy and Policy". *Energy Policy*. Vol. 37, No. 9, Hal. 3428-3437.
- Mulyani, H., Sansongko, S.B., dan Soetrisnanto, D. 2012. *Pengaruh Pre-Klorinasi dan Pengaturan pH terhadap Proses Aklimatisasi dan Penurunan COD Pengolahan Limbah Cair Tapioka Sistem Anaerobic Baffled Reactor*. Tesis. Semarang (ID): Universitas Diponegoro.
- Muriasih, W., Adiwilaga, E.M., dan Pratiwi, N.T.M 2012. *Penyebaran Oksigen Terlarut dari Sungai Cicendo di Waduk Cirata, Jawa Barat*. Skripsi. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Nelson, P.O. dan Lawrence, A.W. 1980. "Microbial Viability Measurement and Activated Sludge Kinetics". *Water Res.* Vol. 14, Hal. 217-225.
- Nurhayati, C. dan Susilawati, N. 2018. "Pengaruh Waktu

- Dekomposisi Lumpur Aktif Basah dari Unit Pengolahan Limbah Pabrik Crumb Rubber pada Proses Pembuatan Pupuk Organik". *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. Vol. 29, No. (1), Hal. 57-65.
- Oladoja, N.A. 2017. "Appropriate Technology for Domestic Wastewater Management in Under-Resourced Regions of The World". *Appl Water Sci*. Vol 7, Hal. 3391-3406.
- Owen. 1984. *Biochemical Engineering Fundamental – Second Editon*. New York (US); McGraw-Hill Publisher.
- Pathak, H., Jain, N., Bhatia, A., Mohanty, S., dan Gupta, N. 2009. "Global Warming Mitigation Potential of Biogas Plants in India". *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 157, Hal. 407–418.
- Pemerintah Daerah Kota Surabaya. 2004. *Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 02 Tahun 2004 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Surabaya (ID).
- Pemerintah Daerah Provinsi Jawa Timur. 2013. *Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/ atau Kegiatan Usaha Lainnya*. Surabaya (ID).
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. *Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta (ID).
- Perkasa, I. dan Soedjono, E.S. 2013. *Studi Potensi Alga Pada Boezem yang Tercemar Air Limbah Perkotaan di Kota Surabaya Sebagai Bahan Baku Minyak Biodiesel*. Tugas Akhir. Surabaya (ID): Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prapta, S.C. dan Hermana, J. 2012. *Studi Kemampuan Alga dalam menyerap Karbon (Carbonsink) sebagai Upaya Alternatif dalam Mengurangi Emisi Karbon (CO₂)*. Tugas Akhir. Surabaya (ID): Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Presiden Republik Indonesia. 2011. *Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 Tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. Jakarta (ID).
- Priadeie, B., dan Pirngadi, B., H. 2014. "Simulasi Pencapaian

- Target Rencana Aksi Nasional Mitigasi Gas Rumah Kaca Sektor Air Limbah". Peneliti Balai Lingkungan Keairan, Puslitbang Sumber Daya Air. *Jurnal Sumber Daya Air*, Vol. 10, No. (2).
- Prianto, T., Ulqodry, Z., dan Aryawati, R. 2013. "Pola Sebaran Konsentrasi Klorofil-A di Selat Bangka dengan Menggunakan Citra Aqua-Modis". *Maspari Journal*. Vol. 1, Hal. 22-23.
- Prihatin, A., Setyono, P., dan Sunarto. 2018. "Sebaran Klorofil-A, Nitrat, Fosfat, dan Plankton sebagai Indikator Kesuburan Ekosistem di Mangrove Tapak Tugurejo Semarang". *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol. 16, No. (1), Hal. 68-77.
- Puspita, T.M.D. dan Tangahu, B.V. 2018. "Potensi Emisi Gas Rumah Kaca pada Boezem Morokrembangan dan Serapannya oleh Alga". *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 7, No. (1), Hal. 2337-3520.
- Riani, E. 2012. *Perubahan Iklim dan Kehidupan Biota Akuatik (Dampak pada Bioakumulasi Bahan Berbahaya dan Beracun & Reproduksi)*. Bogor (ID): IPB Press.
- Romli, M., Suprihatin, dan Sulinda, D. 2004. "Penentuan Nilai Parameter Kinetika Lumpur Aktif untuk Pengolahan Air Lindi Sampah (*Leachate*)". *Jurnal Teknik Industri Pertanian*. Vol. 14, No. (2), Hal. 56-66.
- Rukaesih, Achmad. 2004. *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta (ID): Penerbit Andi.
- Ruppel, C.D. 2011. *Methane Hydrates and Contemporary Climate Change*. Artikel Ilmiah Online. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/methane-hydrates-and-contemporary-climate-change-24314790>. Diakses pada Juni 2019.
- Said, N.I. dan Utomo, K. 2007. "Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Lumpur Aktif yang Diisi dengan Media Bioball". *Jurnal Air Indonesia*. Vol. 3, No. (2), Hal. 160-174.
- Sarmiento, J.L., Slater, R.D., Dunne, J., Gnanadesikan, A., dan Hiscock, M.R. 2010. "Efficiency of Small Scale Carbon Mitigation by Patch Iron Fertilization". *Biogeoscience*. Vol. 7, Hal. 3593-3624.
- Sasse, Ludwig. 1998. *DEWATS: Desentralised Wastewater*

- Treatment in Developing Countries*. Bremen (DE): Penerbit BORDA.
- Satwika. 2012. *Teknis Penanganan Sedimen Secara Kuratif pada Bagian Selatan Boezem Morokrengan*. Tesis. Surabaya (ID): Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Semedi dan Safitri. 2015. "Estimasi Distribusi Klorofil-A di Perairan Selat Madura Menggunakan Data Citra Satelit Modis dan Pengukuran In Situ pada Musim Timur". *Research Journal of Life Science*. Vol. 2, No. 1.
- Septiani, W.D., Slamet, A., dan Hermana, J. 2014. "Pengaruh Konsentrasi Substrat terhadap Laju Pertumbuhan Alga dan Bakteri Heterotropik pada Sistem HRAR". *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 10, No. (2), Hal. 2337-3539.
- Setoaji, L. dan Hermana, J. 2013. "Pengaruh Aerasi dan Sumber Nutrien terhadap Kemampuan Alga Filum Chlorophyta dalam Menyerap Karbon (*Carbon Sink*) untuk Mengurangi Emisi CO₂ di Kawasan Perkotaan". *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 2, No. (2), Hal. 2337-3539.
- Shilton, A., dan Walmsey, N. 2005. *Introduction to Pond Treatment Technology*. In *Pond Treatment Technology*. London: IWA Publishing. Hal. 1-13.
- Sihombing, R.F., Aryawati, R., dan Hartoni. 2013. "Kandungan Klorofil-A Fitoplankton di Sekitar Perairan Desa Sungsang Kabupaten Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan". *Maspari Journal*. Vol. 5, No. 1, Hal. 34-39.
- Silva, J., P. 2007. *Sustainable Water Management in The City of The Future*. PhD Research. Sixth Framework Programme. SWITCH.
- Singh, S.P., dan Singh, P. 2014. "Effect of CO₂ Concentration on Algal Growth: A Review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 38, Hal 172-179.
- Sopiah, N. Adi, M., dan Sindi, S. 2013. "Pengaruh Kelimpahan Sel Mikroalga Air Tawar (*Chlorella sp.*) terhadap Penambatan Karbondioksida". *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 14, No. (1), Hal. 1-6.
- Stepan, D.J., Shockey, R.E., Moe, T.A., dan Dorn, R. 2002. *Carbon Dioxide Sequestering Using Microalgae Systems*. Pittsburgh

- (US): U.S. Departement of Energy.
- Syahputra, R.F., Soedjono, E.S., dan Slamet, A. 2014. *Studi Perubahan Nilai Indeks Pencemar Badan Air di Kota Surabaya terhadap Dominasi, Diversitas Genus Alga, dan Konsentrasi Klorofil-A*. Tugas Akhir. Surabaya (ID): Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- United Nation Water (UN Water). 2015. *Wastewater Management – A UN-Water Analytical Brief*. Laporan Resmi Institusi. <https://www.unwater.org/publications/wastewater-management-un-water-analytical-brief/>. Diakses pada November 2019.
- United States Environmental Protection Agency. 2011. *Federal Water Pollution Control Act (Amended): Title 33 – Chapter 26*. USA.
- Van Amstel, A. 2012. *Methane: A Review*. Artikel Ilmiah Online. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1943815X.2012.694892>. Diakses pada Juli 2019.
- Van Winden, J.F., Retchart, G., McNamara, N.P., Benthien, A., dan Damste, J.S.S. 2012. *Temperature-Induced Increase in Methane Release from Peat Bogs: A Mesocosm Experiment*. Artikel Ilmiah Online. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0039614>. Diakses pada Juli 2019.
- Von Sperling, M. 2007. *Waste Stabilisation Ponds*. Volume Three – Biological Wastewater Treatment Series. London (UK): IWA Publishing.
- Wang, B., Li, Y., Wu, N., dan Lan, C. 2008. “Bio-Mitigation Using Microalgae”. *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol. 79, No. 5, Hal. 707-718.
- Wulandari, W.A. dan Soedjono, E.S. 2017. “Penurunan COD dan Deterjen pada Saluran Kalidami Kota Surabaya dengan Oksidator H₂O₂ dan KMnO₄”. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 6, No. (2), Hal. 2337-3539.
- Zaher, U.E.S. 2005. *Modelling and Monitoring the Anaerobic Digestion Process in View of Optimisation and Smooth Operation of WWTP's*. Disertasi, Ghent (BE): Ghent University
- Zimmo, O.R., Van der Steen, N.P., dan Gijzen, H.H.J. 2003.

“Comparison of Ammonia Volatilisation Rates in Algae and Duckweed-based Waste Stabilisation Ponds Treating Domestic Waste Water”. *Water Res.* Vol. 37, No. (4587), Hal. 45-94.

LAMPIRAN A

PROSEDUR KEGIATAN LAPANGAN DAN LABORATORIUM

I. Prosedur Pengambilan Sampel Air dan Pengukuran Saluran

1. Membagi inlet menjadi beberapa segmen untuk pengukuran kedalaman air, kemudian mengukur masing-masing segmen dengan tali yang telah ditandai setiap 0,5 meter dan diberi pemberat. Dipastikan pemberat cukup berat sehingga tali tidak kendur saat pengukuran. Segmentasi outlet dihitung berdasarkan banyaknya pintu air.
2. Mengukur kecepatan air menggunakan pelampung hanya pada saat air mengalir secara gravitasi keluar dari pintu air. Saat terjadi aliran balik air laut (*coastal backwater*), tidak dilakukan pengukuran dan dianggap bernilai 0 atau negatif sehingga digunakan data sekunder dari spesifikasi pompa. Pengukuran pemberat pelampung diatur 0,6H sesuai panduan.
3. Mengukur data tambahan seperti lebar saluran dan tinggi muka air ke jembatan untuk penggambaran secara teknis. Diukur pula suhu air sampel yang harus secara langsung dilakukan pada saat sampling.
4. Mengambil sampel air dengan timba yang diikat tali dan diberi pemberat. Kedalaman pengambilan ditentukan 0,5H saluran sesuai panduan. Saat pengambilan, diamkan ember sesaat di dalam air agar air teraduk secara homogen mewakili tinggi saluran baru kemudian diangkat.
5. Pengambilan sampel air ditentukan secara metode komposit minimum 3 titik sepanjang jembatan agar mewakili keseluruhan lebar jembatan yakni pinggir kiri-kanan dan tengah saluran. Khusus sampel alga, dilakukan pula pengambilan sampel secara komposit sepanjang tepi boezem yaitu sebanyak 3 titik sejajar berhadapan (tepi kiri dan kanan) pada boezem.
6. Simpan air sampel boezem ke dalam botol plastik PET agar tidak terjadi kontaminasi. Digunakan plastik gelap untuk meminimalkan reaksi akibat cahaya matahari. Digunakan bantuan corong saat menuang air sampel ke dalam botol dan dibiarkan penuh hingga meluber. Pada saat penyimpanan sampel air dalam botol, harus dipastikan seminimum mungkin terjadi pengadukan dan

- pastikan pula tidak terdapat gelembung udara pada saat botol ditutup yang dapat mengurangi keakuratan analisis.
7. Simpan pada kondisi temperatur 2 - 4 °C agar reaksi pada sampel air yang tidak diinginkan dapat diminimalkan. Segera analisis di laboratorium untuk menguji parameter yang telah ditentukan atau diawetkan sesuai parameternya jika tidak dapat diukur langsung.
 8. Kamera untuk dokumentasi kegiatan sampling.

II. Prosedur Analisis Laboratorium

A. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Alat dan bahan

1. Larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N
2. Kristal perak sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan asam sulfat (H_2SO_4)
3. Kristal merkuri sulfat (Hg_2SO_4)
4. Larutan standard Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,05 N
5. Larutan indikator Fenantrolin Ferro Sulfat (feroin)
6. Erlenmeyer 250mL 2 buah
7. Buret 25 mL atau 50 mL 1 buah
8. Alat refluks dan pemanasnya
9. Pipet 5 mL dan 10 mL
10. Pipet tetes 1 buah
11. Gelas beaker 50 mL 1 buah
12. Gelas ukur 25 mL 1 buah

Prosedur Analisis:

1. Masukkan 0,4 g kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmeyer.
2. Tuangkan 20 mL air sampel dan 20 mL air aquadest (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmeyer.
3. Tambahkan 10 mL larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N.
4. Tambahkan 25 mL larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
5. Alirkan pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
6. Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
7. Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air aquadest melalui kondensor sampai volume mencapai 150 mL.

8. Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu hingga dingin.
9. Tambahkan 3 - 4 tetes indikator ferroin.
10. Titrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standard FAS 0,05 N hingga berwarna merah-coklat.
11. Hitung COD sampel dengan rumus:

$$COD \left(\frac{mg O_2}{L} \right) = \left[\frac{(A - B) \times N \times 8000}{vol \text{ sampel}} \right] \times P$$

Keterangan:

A : mL FAS titrasi blanko

B : mL FAS titrasi sampel

N : Normalitas larutan FAS

P : angka pengenceran

B. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Alat dan bahan:

1. Larutan buffer fosfat
2. Larutan magnesium sulfat
3. Larutan kalium klorida
4. Larutan ferri klorida
5. Bubuk inhibitor nitrifikasi
6. Benih inokulum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 g diencerkan dengan 100 mL air
7. Larutan mangan sulfat
8. Larutan pereaksi oksigen
9. Indikator amilum 0,5%
10. Asam sulfat pekat
11. Larutan standard natrium tiosulfat 0,0125 N
12. Aerator untuk mengaerasi larutan pengencer
13. Drum atau ember untuk air pengencer
14. Satu (1) buah labu ukur berukuran 500 mL
15. Botol *winkler* 300 mL dan botol *winkler* 150 mL masing-masing sebanyak 2 buah
16. Inkubator bersuhu 20°C
17. Pipet 5 mL dan 10 mL
18. Gelas ukur 100 mL 1 buah
19. Buret 25 mL atau 50mL

20. Erlenmeyer 250 mL 1 buah

Prosedur Analisis:

a. Pembuatan Larutan Pengencer

Air pengencer tergantung dari banyak sampel yang dianalisis dan pengencerannya, prosedurnya sebagai berikut

1. Tambahkan 1 mL larutan buffer fosfat per liter.
2. Tambahkan 1 mL magnesium sulfat per liter.
3. Tambahkan 1 mL larutan kalium klorida per liter.
4. Tambahkan 1 mL larutan ferri klorida per liter.
5. Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor nitrifikasi.
6. Aerasi minimal selama 2 jam.
7. Tambahkan 1 mL larutan benih per liter air.

b. Prosedur BOD

Prosedur ini digunakan untuk menentukan angka pengenceran (P). Menganalisis BOD perlu diketahui besarnya nilai pengenceran melalui angka $KMnO_4$ sebagai berikut

$$P = \frac{\text{angka } KMnO_4}{a \text{ atau } 5}$$

c. Prosedur BOD dengan winkler

1. Siapkan 1 buah labu ukur 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
2. Siapkan 2 buah botol *winkler* 300 mL dan 2 buah botol *winkler* 150 mL.
3. Tuangkan air dalam labu takar ke dalam botol *winkler* 300 mL (X_5) dan 150 mL (X_0) sampai tumpah.
4. Tuangkan air pengencer ke botol *winkler* 300 mL (B_5) dan 150 mL (B_0) sebagai blanko sampai tumpah.
5. Masukkan kedua botol *winkler* ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
6. Kedua botol *winkler* 150 mL yang berisi air sampel dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - a. Tambahkan 1 mL larutan mangan sulfat.
 - b. Tambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen.

- c. Botol ditutup hati-hati agar tidak ada gelembung udara, kemudian di bolak balik beberapa kali.
 - d. Biarkan gumpalan mengendap 5 - 10 menit.
 - e. Tambahkan 1 mL asam sulfat pekat, tutup dan bolak balik.
 - f. Tuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL.
 - g. Titrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda.
 - h. Tambahkan 3 - 4 tetes indikator amilum 0,5% dan titrasi dengan larutan standard natrium tiosulfat hingga warna biru hilang.
7. Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol *winkler* 300 mL dengan analisis oksigen terlarut yang sama.
 8. Hitung BOD dengan rumus berikut:

$$BOD_5^{20} = \frac{\{(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)\} \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{mL\ sampel}{vol\ hasil\ pengenceran\ (500\ mL)}$$

Keterangan:

- X_0 : DO sampel pada t = 0 hari
 X_5 : DO sampel pada t = 5 hari
 B_0 : DO sampel pada t = 0 hari
 B_5 : DO sampel pada t = 5 hari
P : angka pengenceran

C. Analisis MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids)

Alat dan bahan:

1. Larutan sampel yang akan dianalisis
2. Furnace dengan suhu 550°C
3. Oven dengan suhu 105°C
4. Cawan porselin 50 mL
5. Timbangan analitis
6. Desikator
7. Cawan petridis
8. Kertas saring
9. Vakum filter

Prosedur analisis:

1. Cawan porselin dibakar dengan suhu 550°C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 jam.
2. Masukkan kertas saring ke oven 105°C selama 1 jam.
3. Cawan dan kertas saring diatas didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
4. Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg).
5. Letakkan kertas saring yang telah ditimbang ke dalam vakum filter.
6. Tuangkan 25 mL sampel ke atas filter yang telah dipasang pada vakum filter, volume sampel yang digunakan tergantung dari kepekatannya, catat volume sampel (gr mL).
7. Saring sampel sampai kering atau airnya habis.
8. Letakkan saring pada cawan petridis dan masukkan ke dalam oven 105°C selama 1 jam.
9. Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
10. Timbang dengan timbangan analitis (f mg).
11. Hitung jumlah MLSS dengan rumus berikut:

$$MLSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(f - e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

D. Analisis MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids)

Alat dan Bahan:

1. Furnace dengan suhu 550°C
2. Oven dengan suhu 105°C
3. Cawan porselin 50 mL
4. Timbangan analitis
5. Desikator

Prosedur analisis:

1. Sampel hasil percobaan MLSS dimasukkan ke dalam furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam.
2. Sampel dimasukkan ke dalam oven suhu 105°C selama 1 jam.
3. Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit.

4. Timbang dengan timbangan analitis (h mg).
5. Hitung jumlah MLVSS dengan rumus berikut:

$$MLVSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(f - h)}{g} \times 1000 \times 1000$$

E. Analisis Klorofil-A

Alat dan Bahan:

1. *Centrifuge*
2. Pipet ukur 10mL dan 25mL
3. Gelas ukur 25mL dan pengaduk
4. Reagen larutan magnesium karbonat jenuh, larutan aseton, dan larutan HCL 0,1N
5. Spektrofotometer dan kuvetnya

Pembuatan Reagen:

1. Larutan magnesium karbonat jenuh
1 gram bubuk MgCO₃ diencerkan dengan aquadest hingga volume 100mL
2. Larutan aseton-magnesium karbonat
Campur 10mL larutan MgCO₃ dengan 90mL larutan aseton, diperoleh larutan campuran aseton-magnesium karbonat 100mL.
3. Larutan HCL 0,1N
Ambil 0,2mL HCL pekat, kemudian encerkan dengan aquadest hingga volume 250mL.

Prosedur analisis:

1. Ambil sampel 50mL dengan ke dalam tabung *centrifuge*.
2. *Centrifuge* pada 2000rpm (di antara 2000-3000rpm) selama 30 menit.
3. Ambil supernatan yang berwarna hijau (alga) dengan menggunakan pipet ukur.
4. Masukkan supernatan yang diambil ke dalam gelas ukur 25mL.
5. Tambahkan larutan aseton-magnesium karbonat 2mL.
6. Aduk selama 1 menit dengan pengaduk.
7. Tuangkan sebanyak 10mL pada gelas ukur.
8. Masukkan pada tabung *centrifuge*.

9. *Centrifuge* pada 500rpm selama 20 menit.
10. Pembacaan spektrofotometer pada panjang gelombang 750nm, 664nm dan 645nm.
11. Konsentrasi klorofil-A dapat diketahui dengan persamaan

$$\text{Klorofil - A} \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{26,7 (664b - 665c) \times V1}{V2 \times L}$$

Keterangan:

V1 : Volume ekstrak (L)

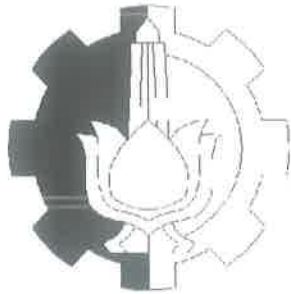
V2 : Volume sampel (m³)

L : Lebar kuvet (cm)

664b; 665c : densitas optikal dari 90% sebelum dan setelah ekstrak

LAMPIRAN B

HASIL ANALISIS LABORATORIUM SAMPEL AIR



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh : Sdr. Danda
Dikirim Tanggal : 02 Desember 2019
Sampel Dari : Inlet Bosem Kalidami H1
No. Laboratorium : 100-020/12/A/KL/2019

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	7,90	pHmeter
2	TSS	mg/L	18,00	Gravimetri
3	MLVSS	mg/L	12,00	Gravimetri
4	Salinitas	‰	0,61	Salinometri
5	DO	mg/L O ₂	0,00	Iodimetri
6	COD	mg/L O ₂	32,00	Reflux/Tetrimetri
7	BOD	mg/L O ₂	17,00	Winkler
8	Khlorofila A	mg/L	1,91	Spektrofotometri

Surabaya, 17 Desember 2019
Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Kepala



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001

Catatan :
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh : Sdr. Danda
Dikirim Tanggal : 02 Desember 2019
Sampel Dari : Outlet Bosem Kalidami H1
No. Laboratorium : 100-021/12/A/KL/2019

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	7,60	pHmeter
2	T S S	mg/L	20,00	Gravimetri
3	MLVSS	mg/L	14,00	Gravimetri
4	Salinitas	‰	0,91	Salinometri
5	D O	mg/L O ₂	0,28	Iodimetri
6	C O D	mg/L O ₂	16,00	Reflux/Tetrimetri
7	B O D	mg/L O ₂	9,00	Winkler
8	Khlorofile A	mg/L	2,76	Spektrofotometri

Surabaya, 17 Desember 2019

Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Kepala,

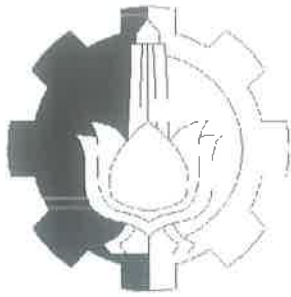


Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

NIP. 195501281985032001

Catatan :

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh : Sdr. Danda
Dikirim Tanggal : 04 Desember 2019
Sampel Dari : Inlet Bosem Kalidami H2
No. Laboratorium : 100-023/12/A/KL/2019

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	8,00	pHmeter
2	TSS	mg/L	24,00	Gravimetri
3	MLVSS	mg/L	16,00	Gravimetri
4	Salinitas	‰	0,53	Salinometri
5	DO	mg/L O ₂	0,16	Iodimetri
6	COD	mg/L O ₂	32,00	Reflux/Tetrimetri
7	BOD	mg/L O ₂	17,00	Winkler
8	Khlorofile A	mg/L	4,61	Spektrofotometri

Surabaya, 17 Desember 2019

Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

kepada,



PIU. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001

Catatan :

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh : Sdr. Danda
Dikirim Tanggal : 04 Desember 2019
Sampel Dari : Outlet Borem Kalidami H2
No. Laboratorium : 100-024/12/A/KL/2019

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	7,90	pHmeter
2	TSS	mg/L	28,00	Gravimetri
3	MLVSS	mg/L	18,00	Gravimetri
4	Salinitas	‰	0,77	Salinometri
5	DO	mg/L O ₂	0,10	Iodimetri
6	COD	mg/L O ₂	64,00	Reflux/Tetrimetri
7	BOD	mg/L O ₂	34,00	Winkler
8	Khlorofila A	mg/L	2,43	Spektrofotometri

Surabaya, 17 Desember 2019

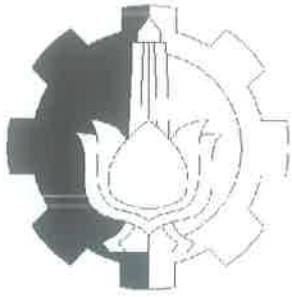
Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Kepala



Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001

Catatan :

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh : Sdr. Danda
Dikirim Tanggal : 05 Desember 2019
Sampel Dari : Inlet Bosem Kalidami H3
No. Laboratorium : 100-025/12/A/KL/2019

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	7,80	pHmeter
2	TSS	mg/L	44,00	Gravimetri
3	MLVSS	mg/L	28,00	Gravimetri
4	Salinitas	‰	0,61	Salinometri
5	DO	mg/L O ₂	0,12	Iodimetri
6	COD	mg/L O ₂	48,00	Reflux/Tetrimetri
7	BOD	mg/L O ₂	25,00	Winkler
8	Khlorofil A	mg/L	2,37	Spektrofotometri

Surabaya, 17 Desember 2019

Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Kepala,



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc. 9
NIP. 195501281985032001

Catatan :

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh : Sdr. Danda
Dikirim Tanggal : 05 Desember 2019
Sampel Dari : Outlet Bosem Kalidami H3
No. Laboratorium : 100-026/12/A/KL/2019

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	7,80	pHmeter
2	TSS	mg/L	72,00	Gravimetri
3	MLVSS	mg/L	46,00	Gravimetri
4	Salinitas	‰	0,84	Salinometri
5	DO	mg/L O ₂	0,26	Iodimetri
6	COD	mg/L O ₂	36,00	Reflux/Tetrimetri
7	BOD	mg/L O ₂	20,00	Winkler
8	Khlorofila A	mg/L	3,09	Spektrofotometri

Surabaya, 17 Desember 2019

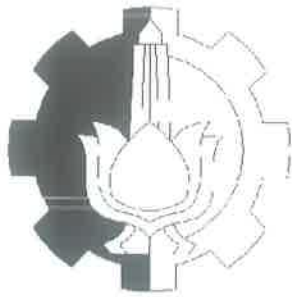
Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Catatan :

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh : Sdr. Danda
Dikirim Tanggal : 05 Desember 2019
Sampel Dari : Inlet Bosem Kalidami H4
No. Laboratorium : 100-027/12/A/KL/2019

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	8,00	pHmeter
2	TSS	mg/L	52,00	Gravimetri
3	MLVSS	mg/L	34,00	Gravimetri
4	Salinitas	‰	0,51	Salinometri
5	DO	mg/L O ₂	0,18	Iodimetri
6	COD	mg/L O ₂	20,00	Reflux/Tetrimetri
7	BOD	mg/L O ₂	11,00	Winkler
8	Khlorofila A	mg/L	1,78	Spektrofotometri

Surabaya, 17 Desember 2019

Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Kepala:



Prof. Dr. Ir. Nieke Kamaningroem, MSc. 
NIP. 195501281985032001

Catatan :

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh : Sdr. Danda
Dikirim Tanggal : 05 Desember 2019
Sampel Dari : Outlet Borem Kalidami H4
No. Laboratorium : 100-028/12/A/KL/2019

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	8,00	pHmeter
2	TSS	mg/L	48,00	Gravimetri
3	MLVSS	mg/L	32,00	Gravimetri
4	Salinitas	‰	0,61	Salinometri
5	DO	mg/L O ₂	2,46	Iodimetri
6	COD	mg/L O ₂	24,00	Reflux/Tetrimetri
7	BOD	mg/L O ₂	13,00	Winkler
8	Khlorofila A	mg/L	2,83	Spektrofotometri

Surabaya, 17 Desember 2019

Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

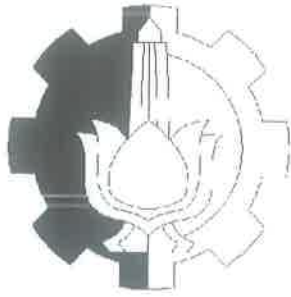
Kepala



Prof. Dr. L. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001

Catatan :

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh : Sdr. Danda
Dikirim Tanggal : 09 Desember 2019
Sampel Dari : Inlet Bosem Kalidami H5
No. Laboratorium : 100-029/12/A/KL/2019

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	7,90	pHmeter
2	TSS	mg/L	46,00	Gravimetri
3	MLVSS	mg/L	30,00	Gravimetri
4	Salinitas	‰	0,61	Salinometri
5	DO	mg/L O ₂	0,00	Iodimetri
6	COD	mg/L O ₂	32,00	Reflux/Tetrimetri
7	BOD	mg/L O ₂	18,00	Winkler
8	Khlorofile A	mg/L	5,26	Spektrofotometri

Surabaya, 17 Desember 2019

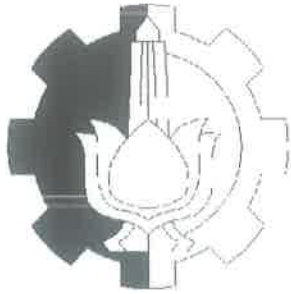
Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Kepala,



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc. *N*
NIP. 195501281985032001

Catatan :

- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami



LABORATORIUM MANAJEMEN KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA AIR

Dikirim Oleh : Sdr. Danda
Dikirim Tanggal : 09 Desember 2019
Sampel Dari : Outlet Borem Kalidami H5
No. Laboratorium : 100-030/12/A/KL/2019

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	7,80	pHmeter
2	TSS	mg/L	44,00	Gravimetri
3	MLVSS	mg/L	28,00	Gravimetri
4	Salinitas	‰	0,52	Salinometri
5	DO	mg/L O ₂	0,16	Iodimetri
6	COD	mg/L O ₂	48,00	Reflux/Tetrimetri
7	BOD	mg/L O ₂	26,00	Winkler
8	Khlorofile A	mg/L	4,47	Spektrofotometri

Surabaya, 17 Desember 2019
Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
Kepala,

Catatan :
- Laporan ini dibuat untuk cuplikan air yang diterima laboratorium kami



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.
NIP. 195501281985032001

LAMPIRAN C

DOKUMENTASI FOTO KEGIATAN PENELITIAN



Gambar 1
Penampakan Boezem dari Outlet



Gambar 3
Input Liar dari Sekeliling Boezem



Gambar 2
Level Muka Air Psikologis saat Pengukuran



Gambar 4
Pengukuran Saluran dan Pengambilan Sampel Air

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

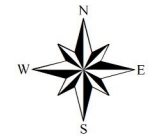
LAMPIRAN D

GAMBAR TEKNIS DAN ILUSTRASI



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020

Peta Dasar Waduk Boezem Kalidami Surabaya, Jawa Timur



0 25 50 100
Meter

Skala 1:3.500

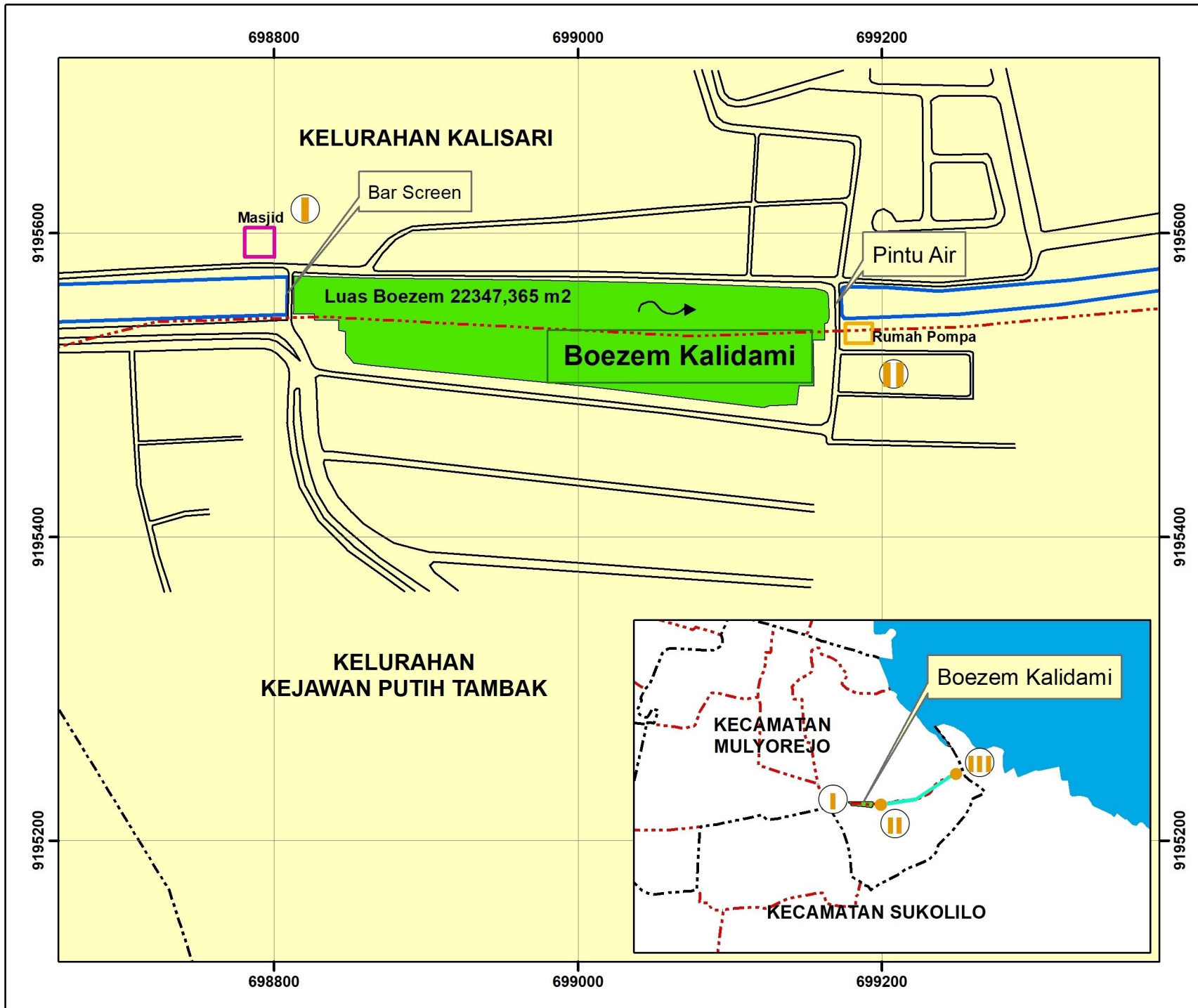
Legenda Frame 1

- Batas Kecamatan
- - - Batas Kelurahan
- Jalan
- Sungai atau Saluran
- Boezem
- Wilayah Surabaya

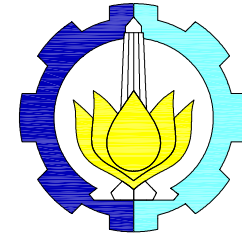
Legenda Frame 2

- Batas Kecamatan
- - - Batas Kelurahan
- Batas Pantai
- Jarak II - III = 1,450 km
- Boezem
- Wilayah Surabaya
- Pantai

Dibuat Oleh:
Danda Prasna Satwika
0321 12 4000 0046







“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN
DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
SURABAYA

TUGAS AKHIR
KAJIAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA UPAYA
PENERAPAN BOEZEM KALIDAMI SEBAGAI
PRETREATMENT AIR LIMBAH DOMESTIK
DI SURABAYA

LEGENDA

-  : Beton
-  : Tanah Dasar
-  : Arah Aliran
-  : Backwater

DOSEN PEMBIMBING

Bieby Voijsant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

MAHASISWA

DANDA PRASNA SATWIKA
NRP 0321124000046

JUDUL GAMBAR

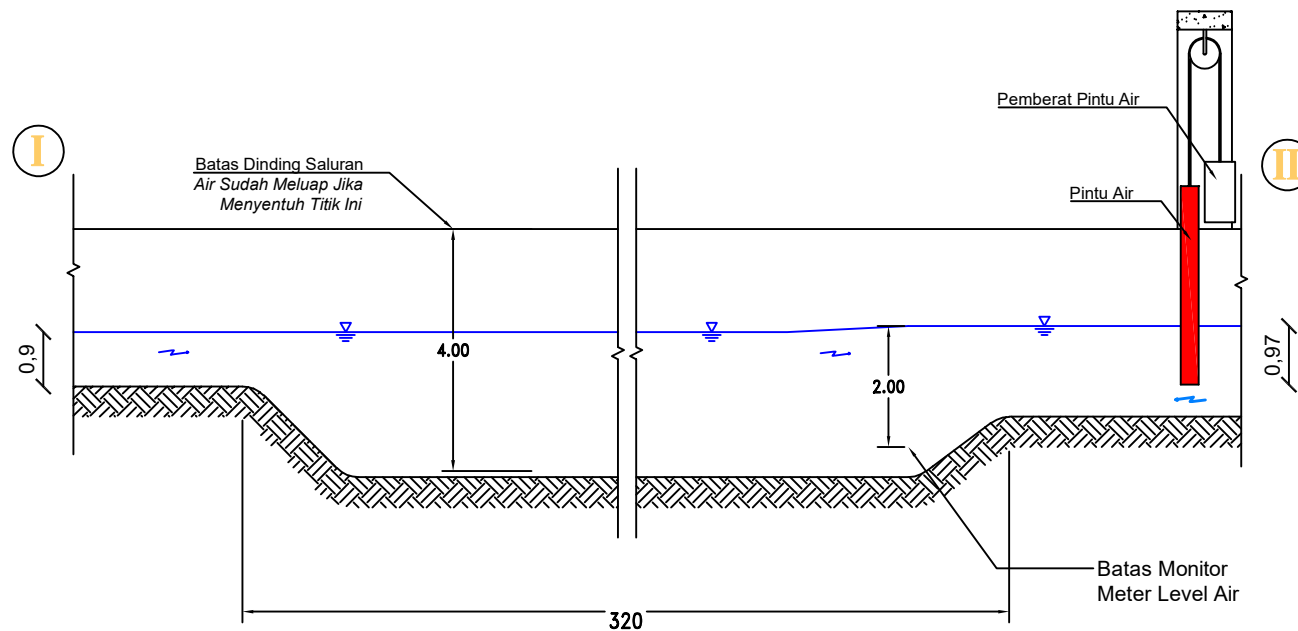
ILUSTRASI ELEVASI MUKA AIR
BOEZEM KALIDAMI PADA KONDISI BACKWATER

SKALA

1:125

HALAMAN

153



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN E
BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bontang, 23 September 1993 dan merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara. Riwayat pendidikan penulis adalah alumni SD 2 Yayasan Pupuk Kaltim Kota Bontang, alumni SMP Yayasan Pupuk Kaltim Kota Bontang dan alumni SMA Yayasan Pupuk Kaltim Kota Bontang.

Pada tahun 2012, penulis diterima masuk untuk melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Lingkungan (saat ditulis berubah nama menjadi Departemen Teknik Lingkungan), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (saat ditulis berubah nama menjadi Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis diterima di ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN dengan identitas NRP 3312100046 (saat ditulis berubah menjadi NRP 0321124000046).

Selama masa perkuliahan, penulis sempat menjadi staff komunitas EEEEC HMTL ITS periode 2013/2014 dan 2014/2015. Penulis juga sempat menjadi panitia dan pengisi acara pada beberapa event yang diselenggarakan oleh HMTL ITS. Pada tahun 2015, penulis pernah melaksanakan kerja praktik di PT PERTAMINA EP ASSET 4 FIELD CEPU selama 45 hari. Kritik, saran dan pertanyaan dapat dikirimkan ke alamat email penulis berikut: *danda.prasn@gmail.com*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : DANDA PRASNA SATWIKA
NRP : 03211240000046
Judul : KAJIAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA UPAYA PENERAPAN
BOEZEM KALIDAMI SEBAGAI PRETREATMENT AIR LIMBAH
DOMESTIK DI SURABAYA

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	05-09-2019	Asistensi konsep proposal TA - tidak usah sampling dengan kapal; susun pertimbangan teknis - tidak perlu metode square section; pertimbangan boezem kecil	<i>lan</i>
2	21-09-2019	Asistensi format penulisan proposal TA - menambahkan referensi pada pernyataan bersifat konseptual dan data angka	<i>lan</i>
3	12-11-2019	Finalisasi draft proposal TA - menambahkan lembar pengesahan dosen pembimbing - membuat materi presentasi	<i>lan</i>
4	19-11-2019	Asistensi perizinan pelaksanaan TA di lapangan - crosscheck data dan instansi yang dibutuhkan di perizinan	<i>lan</i>
5	03-12-2019	Asistensi teknis sampling di lapangan - gunakan teknis sederhana tetapi representatif sesuai panduan; gunakan teknik komposit sampel untuk memudahkan sampling - waktu sampling menyesuaikan kondisi eksisting; mengikuti jadwal pemompaan dan pembukaan pintu air	<i>lan</i>
6	07-01-2020	Asistensi laporan kemajuan TA - melakukan perhitungan emisi GRK Boezem Kalidami - memperbaiki format penulisan dan membuat materi presentasi	<i>lan</i>
7	09-01-2020	Finalisasi laporan kemajuan TA - melengkapi perhitungan upaya mitigasi reduksi GRK Boezem Kalidami - menambahkan kesimpulan sementara	<i>lan</i>
8	14-01-2020	Asistensi kelengkapan laporan akhir TA - menambahkan biodata penulis dan kata pengantar - memperbaiki format penulisan sesuai panduan	<i>lan</i>
9	17-01-2020	Finalisasi laporan akhir TA - segera menyelesaikan revisi dosen pengarah - menambahkan referensi pendukung - segera menyelesaikan jurnal pomits	<i>lan</i>

Surabaya, 17 Januari 2020
Dosen Pembimbing,

Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Danda Prasna Satwika
NRP : 03211240000046
Judul Tugas Akhir : KAJIAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA UPAYA PENERAPAN BOEZEM KALIDAMI SEBAGAI PRETREATMENT AIR LIMBAH DOMESTIK DI SURABAYA

No	Saran Perbaikan (sesuai Form KTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
	Dosen Pembimbing	
1.	Memperbaiki font dan spasi di daftar pustaka	sudah diperbaiki
2.	Titik sampling juga ditulis nomor saja, jangan utara dan selatan boezem	sudah diperbaiki di Bab 4 (metode) dan Bab 5 (terkait pembahasan hasil uji parameter sampel air)
3.	Tidak boleh ada halaman kosong selain di akhir bab	sudah diperbaiki
4.	Melengkapi biodata, kata pengantar, dan merapikan daftar (termasuk daftar isi, tabel, gambar)	sudah diperbaiki dan dilengkapi
5.	memperbaiki halaman 73 gambar 5.7	sudah diperbaiki
	Dosen Pengarah 1	
1.	Perbaiki penulisan yang ditandai di buku	sudah diperbaiki
2.	perbaiki kalimat di halaman 65	sudah diperbaiki
3.	Data tabel dan grafik tidak boleh sama, pilih salah satu (Bab 5 → pembahasan)	dipilih grafik, sudah disesuaikan dengan sub-bab terkait hasil uji parameter sampel air.
4.	Kesimpulan disederhanakan kalimatnya	sudah diperbaiki
	Dosen Pengarah 2	
1.	Arah tabel pada halaman landscape harus konsisten searah dengan kepala tabel di sebelah kiri	sudah diperbaiki
2.	Tabel data inlet dan outlet dijadikan 1 (Bab 5 → pembahasan); sesuaikan dengan arahan dosen pengarah lainnya.	sudah diperbaiki, tidak dimasukkan ke dalam laporan
3.	membuat tabel perhitungan massa dari hasil uji parameter air	sudah dibuat di halaman 90
4.	Memperbaiki skenario perhitungan yang digunakan	sudah diperbaiki

Dosen Pembimbing,



DIEKY VOLZANT TANGAHU, ST., MT., PHD.

Mahasiswa Ybs.,



DANDA PRASNA SATWIKA.....

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Danda Prasna Satwika
 NRP : 03211240000046
 Judul Tugas Akhir : KAJIAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA UPAYA PENERAPAN BOEZEM KALIDAMI
 SEBAGAI PRETREATMENT AIR LIMBAH DOMESTIK DI SURABAYA

No	Saran Perbaikan (sesuai Form KTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
↳	Lanjutan Dosen Pengarah 2	
5.	Memperbaiki kesimpulan Dosen Pengarah 3	sudah diperbaiki
1.	Memperbaiki abstrak pasca hasil penelitian telah didapatkan, perbaiki kezhimatanya	sudah diperbaiki
2.	Memberikan masukan terkait pengaruh backwater terhadap analisis laboratorium (terutama BOD dan COD) ataupun pengaruh pada proses kolam stabilitasi	sudah ditambahkan di sub bab 5.1-5.3 pada pembahasan terkait
3.	Menambahkan ilustrasi/gambaran terkait kondisi aliran hidrolis boezem saat terjadi backwater	sudah ditambahkan di lampiran D

Dosen Pembimbing,

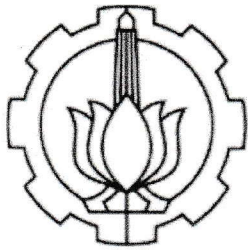


DICKY VRIJANTI TANGAHU, ST., MT., PhD.

Mahasiswa Ybs.,



DANDA PRASNA SATWIKA




FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR


Nama : Danda Prasna Satwika
NRP : 0321124000046
Judul Tugas Akhir : KAJIAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA UPAYA PENERAPAN BOEZEM KALIDAMI SEBAGAI
PRETREATMENT AIR LIMBAH DOMESTIK DI SURABAYA

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Dosen Pembimbing Peta lokasi studi diletakkan di Bab gambaran umum	sudah ditambahkan di halaman 50
1.	Dosen Pengarah 1 Kata pengantar mengikuti format penulisan pada umumnya	sudah diperbaiki di halaman v dan vi
2.	Penentuan 40% kedalaman sebagai proses anaerobik perlu ditinjau ulang	tidak ditambahkan ke laporan, redaksional diperbaiki di halaman 101
3.	Penggunaan istilah koefisien diperbaiki Dosen Pengarah 2	redaksional sudah diperbaiki di halaman 88-94
1.	Saran hanya terkait studi yang dilakukan	saran telah diperbaiki di halaman 125-126
2.	skenario potensi diperbaiki berdasarkan upaya reduksi yang dilakukan	sudah diperbaiki mulai dari Abstrak hingga Kesimpulan dan Saran.
3.	Perhitungan emisi berdasarkan skenario potensi yang baru diperbaiki (termasuk reduksi emisi)	sudah diperbaiki di sub bab 5.2 dan 5.3
4.	penulisan format halaman laporan diperbaiki	sudah diperbaiki
1.	Dosen Pengarah 3 Abstrak disederhanakan sesuai arahan	sudah diperbaiki di halaman i - iv
2.	Kesimpulan diperbaiki sesuai tujuan	sudah diperbaiki di halaman 125-126
3.	Ilustrasi kondisi fisik boezem dilengkapi keterangan panjang dan kedalaman boezem, arah aliran, dan simbol bangunan di sekitar lokasi (untuk layout peta)	sudah diperbaiki dan ditambahkan di Lampiran D

Dosen Pembimbing,

Mahasiswa Ybs.,


BIETY VOIJANT TANGAHU, ST., MT., PhD.


DANDA PRASNA SATWIKA

“Halaman ini sengaja dikosongkan”